



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO  
CON INTENSIFICACIÓN EN DISEÑO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

SOPORTE ELECTROIMAN PARA  
MAGNETO-OPTICA KERR

Daniel Díaz Terés

Ricardo Ortega Hertogs

Tudela, 21 de febrero del 2014





*A mi familia, por su continuo apoyo y comprensión.*

*A Lucía, por estar ahí siempre.*

*Y a todos por su paciencia y constante disposición.*

# Agradecimientos

A mi familia. Gracias a ellos he llegado a ser lo que soy hoy y a tener lo que hoy tengo. Gracias también por vuestro apoyo incondicional, sin vosotros todo esto hubiera sido prácticamente imposible. Siempre habéis querido lo mejor para mí y me habéis ayudado a que lo consiguiera.

A mi tutor, Ricardo Ortega Hertogs, que ha hecho posible este proyecto y me ha brindado la oportunidad de contar con su inestimable ayuda, experiencia y conocimientos.

A todos los profesores. Que han contribuido a mi formación y han formado parte de mi experiencia académica durante todo este tiempo.

A mis compañeros. Vosotros sabéis a quiénes me refiero. Los días interminables de biblioteca y los ataques de risa, los nervios de los exámenes, el pitillo de la victoria,... Muchas gracias por estar ahí siempre que me surgía algún problema.

A todos, gracias.

# Índice general

1. Introducción	7
1.1. Generalidades sobre el efecto Kerr magneto-óptico . . . . .	7
1.1.1. Reflectividad . . . . .	7
1.1.2. El efecto Kerr MO . . . . .	8
1.1.3. Sistema experimental . . . . .	9
1.2. Material y geometría del núcleo magnético . . . . .	11
2. Desarrollo del diseño	13
3. Diseño detallado del soporte del electroimán para MOKE	16
3.1. Identificación de las 4 zonas del soporte . . . . .	16
3.1.1. Base . . . . .	16
3.1.2. Caja de avance . . . . .	17
3.1.3. Cuerpo . . . . .	18
3.1.4. Grupo motor . . . . .	18
3.2. Descripción de los componentes del soporte . . . . .	19
3.2.1. Bastidor . . . . .	19
3.2.2. Mordazas . . . . .	19
3.2.3. <i>Silentblocks</i> . . . . .	20
3.2.4. Rodamientos . . . . .	22
3.2.5. Engranajes . . . . .	22
3.2.6. Casquillo Z.12-72 . . . . .	24
3.2.7. Tapa de protección . . . . .	24
3.2.8. Lente . . . . .	25
3.2.9. Brida lente . . . . .	25
3.2.10. Tambores . . . . .	25
3.2.11. Vinilos . . . . .	27
3.2.12. Banco . . . . .	29
3.2.13. Husillo . . . . .	29
3.2.14. Carro horizontal . . . . .	30
3.2.15. Bolas cerámicas . . . . .	31
3.2.16. <i>Clip</i> . . . . .	31
3.2.17. Mordaza giratoria . . . . .	32
3.2.18. Soporte motor . . . . .	32
3.2.19. Vaso del eje-motor . . . . .	33

3.2.20 Motor-reductor . . . . .	33
3.2.21 Tornillos . . . . .	34
3.2.22 Arandelas de seguridad . . . . .	34
3.2.23 Piezas polares . . . . .	35
3.2.24 Bobina . . . . .	36
3.2.25 Mango articulado . . . . .	36
3.3. Manual de instrucciones . . . . .	36
3.3.1. Instrucciones de montaje y desmontaje . . . . .	37
3.4. Conjunto . . . . .	38
3.5. Almacenamiento de las piezas. . . . .	39
4. Caracterización y optimización magnética . . . . .	40
4.1. Sistema experimental . . . . .	40
4.1.1. Sistema de inducción electromagnética . . . . .	40
4.1.2. Integrador electrónico . . . . .	42
4.2. Tratamientos térmicos de optimización . . . . .	44
5. Automatismo . . . . .	46
5.1. Orientación del campo magnético . . . . .	46
5.2. Circuito eléctrico . . . . .	46
5.2.1. Esquema circuito eléctrico . . . . .	48
5.2.2. Nomenclatura . . . . .	49
5.2.3. Bornera . . . . .	50
6. Ciclo de vida del producto . . . . .	51
7. Cálculos . . . . .	55
7.1. Centro de masas y volúmenes . . . . .	55
7.2. Estudio de esfuerzos en el bastidor . . . . .	67
8. Planos . . . . .	73
8.1. Ensamblaje soporte electroimán . . . . .	74
8.2. Ensamblaje base . . . . .	75
8.3. Ensamblaje caja de avance . . . . .	76
8.4. Ensamblaje cuerpo . . . . .	77
8.5. Ensamblaje grupo motor . . . . .	78
8.6. Bastidor . . . . .	79
8.7. Engranaje Z.20 . . . . .	80
8.8. Engranaje Z.12 . . . . .	81
8.9. Engranaje Z.72 . . . . .	82
8.10. Casquillo Z.12-72 . . . . .	83
8.11. Engranaje Z.120 . . . . .	84
8.12. Silentblock guía pequeña . . . . .	85
8.13. Silentblock guía grande . . . . .	86
8.14. Tambor primario Z.20 . . . . .	87
8.15. Tapa de protección . . . . .	88

8.16.Brida lente . . . . .	89
8.17.Banco . . . . .	90
8.18.Husillo . . . . .	91
8.19.Tambor primario husillo . . . . .	92
8.20.Carro horizontal . . . . .	93
8.21.Engranaje Z.15 . . . . .	94
8.22.Tambor secundario . . . . .	95
8.23.Tambor primario Z.15 . . . . .	96
8.24.Mordaza giratoria . . . . .	97
8.25.Clip . . . . .	98
8.26.Soporte motor . . . . .	99
8.27.Silentblock mordaza ranurada . . . . .	100
8.28.Silentblock motor . . . . .	101
8.29.Base caja . . . . .	102
8.30.Tapa caja . . . . .	103
 9. Catálogos . . . . .	 104
9.1. Tornillería . . . . .	104
9.2. Arandelas de seguridad . . . . .	107
9.3. Rodamientos . . . . .	107
9.4. Motor-reductor . . . . .	108
9.5. Lente . . . . .	109
9.6. Bolas cerámicas . . . . .	110
9.7. Mordaza guía . . . . .	110
9.8. Vaso del eje-motor . . . . .	110
9.9. Mango articulado . . . . .	111
9.10.Engranajes . . . . .	111
9.11.Bornes . . . . .	112
9.12.Fusible-seccionador . . . . .	112
9.13.Cofrets . . . . .	112
9.14.Piloto luminoso . . . . .	112
9.15.Contactor . . . . .	113
9.16.Relé térmico . . . . .	113
9.17.Pulsador . . . . .	113
9.18.Fuente de alimentación AC/DC . . . . .	113
9.19.Fusible . . . . .	114
 10.Presupuesto . . . . .	 115

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Generalidades sobre el efecto Kerr magneto-óptico

El presente proyecto persigue el diseño de un electroimán para ser usado en una instalación de magneto-óptica Kerr, que podría usarse también como elipsómetro. Pasamos a describir el sistema experimental del que se dispone en el laboratorio de física de la UPNa, en el campus de Tudela, así como generalidades de óptica y magneto-óptica, que nos permitan conocer el sistema experimental del que se dispone y con qué finalidad, situar las necesidades y mostrar las restricciones que impone dicho sistema al diseño del presente proyecto.

#### 1.1.1. Reflectividad

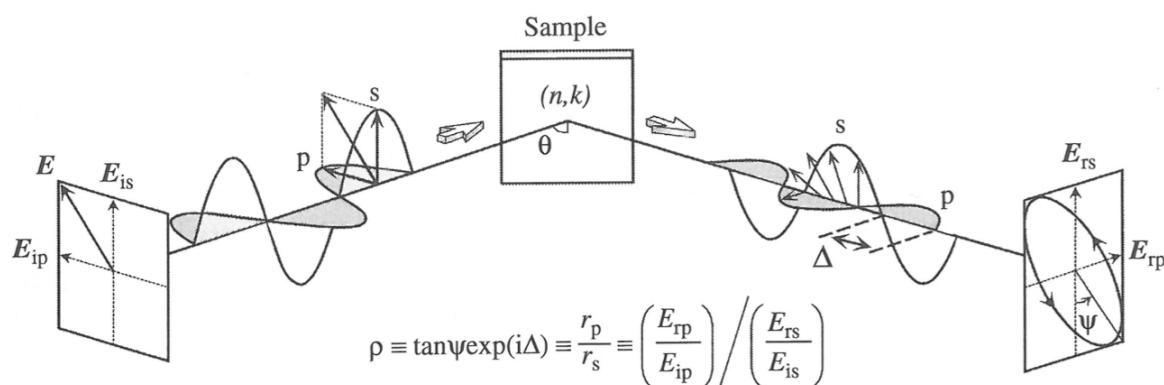


Figura 1.1.1: Conversión de luz lineal en elípticamente polarizada. Extraído de [1].

La figura (1.1.1) ilustra una situación experimental típica. La luz viaja de izquierda a derecha, en el sentido de las flechas indicadas. El *plano óptico* está definido por los haces incidente y reflejado. El haz incidente lo hace bajo el ángulo  $\theta$  que forma la dirección del haz incidente con la de la normal al plano de la muestra. La luz incidente está linealmente polarizada: el campo eléctrico incidente  $\mathbf{E}$  oscila en una única dirección, a  $+45^\circ$  con respecto al plano óptico en la figura.<sup>1</sup> El campo eléctrico de la luz incidente tiene dos componentes:  $p$ , en el plano óptico, y  $s$ , perpendicular al plano óptico. La muestra está caracterizada por el índice de refracción complejo  $N = n + ik$ , que depende de

<sup>1</sup>El criterio de signos conviene giro positivo: antihorario, mirando la luz desde el detector (al final del haz reflejado).

la longitud de onda de la luz incidente ( $i$  es la unidad imaginaria). Los coeficientes complejos de reflectividad  $r_p$  para la luz  $p$  y  $r_s$  para la luz  $s$  son diferentes. Por tanto, la luz reflejada por el medio material tiene dos componentes

$$\begin{aligned} E_p^r &= r_p E_p^i \\ E_s^r &= r_s E_s^i \end{aligned}$$

que son en general de diferente amplitud y de diferente fase. En la Fig. 1.1.1, la componente  $s$  de la luz reflejada está retrasada con respecto a la  $p$ : existe un desfase  $\Delta$  entre ellas, por lo que la luz que llega al detector está polarizada elípticamente. Si el desfase fuera nulo ( $\Delta = 0$ ), la luz reflejada estaría linealmente polarizada. El estado de polarización de la luz reflejada viene determinado por tanto por los coeficientes  $\Psi$  y  $\Delta$ . El ángulo  $\Psi$  nos informa de la amplitud relativa de las componentes  $s$  y  $p$  de la luz reflejada. Para  $\Psi = 45^\circ$ , las amplitudes serían iguales. Un elipsómetro permite determinar los coeficientes mencionados. El aire es típicamente el medio en el que viaja la luz, de índice de refracción la unidad, de manera que los coeficientes de reflectividad, llamados de Fresnel, vienen dados por: [2]

$$\begin{aligned} r_p &= \frac{N^2 \cos \theta - \sqrt{N^2 - \sin^2 \theta}}{N^2 \cos \theta + \sqrt{N^2 - \sin^2 \theta}} = N t_p - 1 \\ r_s &= \frac{\cos \theta - \sqrt{N^2 - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{N^2 - \sin^2 \theta}} \end{aligned} \quad (1.1.1)$$

### 1.1.2. El efecto Kerr MO

El efecto Kerr magnetoóptico (MOKE), descubierto por John Kerr en 1888, consiste en una variación de la reflectividad a la luz del espectro electromagnético visible, que es dependiente del estado magnético de un medio material. En general, la reflectividad depende de la longitud de onda de la luz incidente y del ángulo de incidencia  $\theta$ . La relación entre los campos eléctricos incidente y reflejado viene dada por: [3, 4]

$$\begin{pmatrix} E_p^r \\ E_s^r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{pp} & r_{ps} \\ r_{sp} & r_s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_p^i \\ E_s^i \end{pmatrix}$$

en la que los coeficientes con doble subíndice indican que hay parte magneto-óptica. Ésta proviene de la interacción de la imanación del medio material con el campo electromagnético de la luz. Hay tres efectos, relacionados entre sí, que dependen de la orientación relativa entre la polarización de la luz incidente y la imanación del medio material [3]:

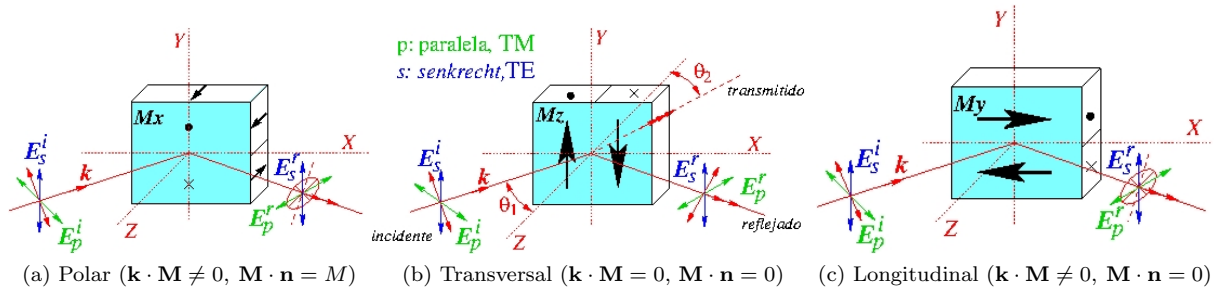


Figura 1.1.2: Efectos Kerr magneto-ópticos.

### 1. Polar (Fig. 1.1.2a)

La imanación es perpendicular al plano de la muestra. Se produce una conversión de luz incidente polarizada  $s$  en luz  $p$  y recíprocamente. Para luz incidente linealmente polarizada, se produce por tanto una rotación del plano de polarización y la aparición de elipticidad. Se tiene  $r_{pp} = r_p$  y

$$r_{sp} = r_{ps} = iQ \frac{(1 + r_s)(1 + r_p)}{4 \cos \theta} \quad (1.1.2)$$

### 2. Transversal o ecuatorial (Fig. 1.1.2b)

La imanación está en el plano de la muestra y es perpendicular al plano óptico. En este caso se produce una variación en la amplitud y en la fase de la luz incidente polarizada  $p$ . No hay conversión de luz  $p$  en  $s$  ni *vice versa*:  $r_{sp} = r_{ps} = 0$ .

$$r_{pp} = r_p + \frac{1}{2} i Q t_p^2 \tan \theta \quad (1.1.3)$$

### 3. Longitudinal o meridional (Fig. 1.1.2c)

La imanación está en el plano de la muestra y en el plano óptico. Se produce una conversión de luz  $s$  en luz  $p$  y recíprocamente. Para luz incidente linealmente polarizada, se produce una rotación del plano de polarización y la aparición de elipticidad. Se tiene  $r_{pp} = r_p$  y

$$r_{sp} = -r_{ps} = iQ \frac{(1 + r_s)(1 + r_p) \tan \theta}{4 \sqrt{N^2 - \sin^2 \theta}} \quad (1.1.4)$$

En general, la imanación de un medio material se puede controlar mediante la aplicación de un campo magnético externo. De la observación del efecto Kerr, a diferentes ángulos de incidencia y con diferentes longitudes de onda, puede determinarse tanto la orientación de la imanación (y su variación mediante un campo magnético) como las constantes ópticas: índice de refracción complejo  $N$  y magneto-ópticas: constante de Voigt  $Q$ , dependientes de la longitud de onda de la luz, que determinan el comportamiento óptico y magneto-óptico del medio material. Por ejemplo, para *permalloy* ( $Ni_{80}Fe_{20}$ ), se tiene  $N = 2,42 + i3,62$ ,  $Q = (7,07 + i7,85) \times 10^{-3}$ , para una longitud de onda  $\lambda = 632,8$  nm (láser de He-Ne) [5].

## 1.1.3. Sistema experimental

Los componentes del sistema del que se dispone en el laboratorio de física pueden verse en la (Fig. 1.1.3). Por el momento, el sistema emplea como fuentes de luz dos láseres de diodo: en



el rojo, a 635 nm ( $L_r$ ) y en el verde, a 532 nm ( $L_v$ ). Mediante una lámina divisora de haz (BS, *beam splitter*) se lleva parte del haz de uno de los dos láseres a un fotodiodo compensador (C) y parte hacia la muestra. El atenuador (At) permite disminuir la intensidad de luz del láser rojo. Las lentes (L1) y (L2) enfocan el haz de luz respectivamente hacia la muestra y hacia el detector (D). Tanto éste como el compensador (C) emplean fotodiodos de silicio, de baja capacidad parásita ( $\sim 50$  pF) para una rápida respuesta ( $\gtrsim 1$  V/ $\mu$ s) a través de la electrónica apropiada (amplificador de transresistencia). Los polarizadores del haz incidente (P) y el empleado como analizador (A) son del tipo Glan-Thompson, montados sobre sendos goniómetros, que permiten variar la orientación del eje de polarización. El modulador fotoelástico también va montado sobre un goniómetro con el mismo fin. Tanto el soporte de la muestra como el brazo óptico del haz reflejado van montados sobre sendos goniómetros que permiten variar el ángulo de incidencia. El brazo óptico del haz incidente es fijo. La muestra está montada sobre un trasladador XYZ, que permite colocarla en el eje de intersección entre los brazos ópticos incidente y reflejado (traslación Z de la Fig. 1.1.2) y variar la posición del punto de luz incidente sobre la misma (traslaciones X e Y de la Fig. 1.1.2). Está además montada sobre un goniómetro que permite cambiar la orientación de la muestra (giro respecto del eje Z de la Fig. 1.1.2).

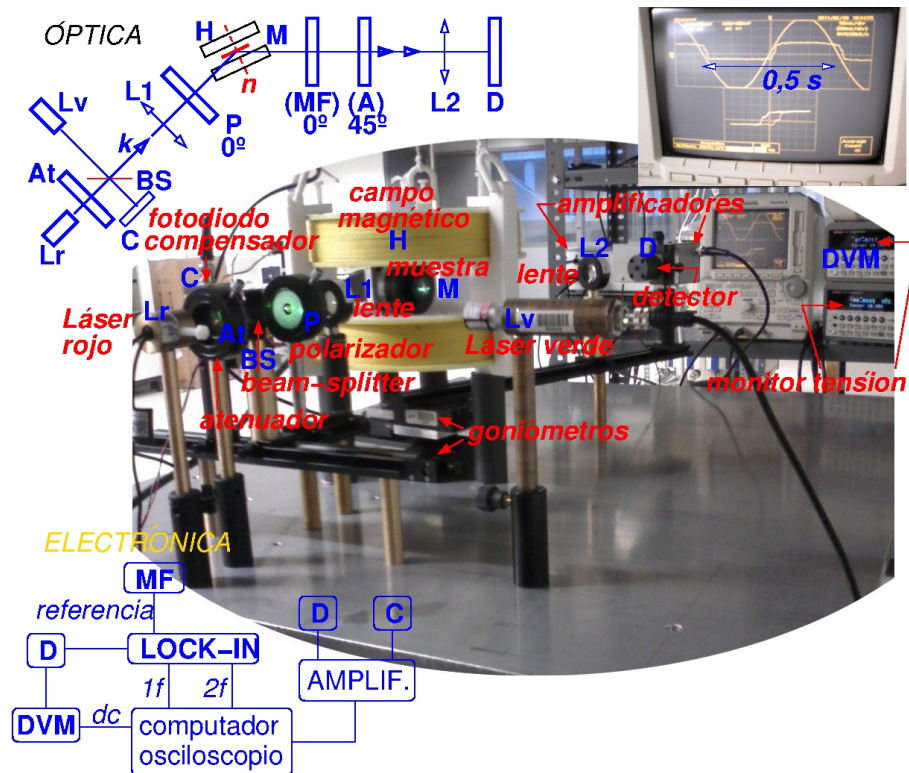


Figura 1.1.3: Sistema experimental para magneto-óptica Kerr en el laboratorio de Física de la UPNa, campus de Tudela.

El sistema experimental hace uso de un modulador fotoelástico (MF). Está formado en esencia por un medio óptico que puede hacerse birrefringente a voluntad, produciendo con ello un retraso entre los rayos ordinario y extraordinario (de polarizaciones  $p$  y  $s$ ), de manera análoga a lo que ocurre en el haz reflejado por la muestra de la Fig. 1.1.1. Esta birrefringencia se produce, en el modulador del que disponemos, variando cíclicamente (a 50 kHz) la deformación de un prisma de sílice fundida (vítrea). La deformación produce una anisotropía óptica, cuyo eje coincide con el de

la deformación, que resulta en la variación de la velocidad de propagación entre los rayos ordinario y extraordinario, lo que finalmente da lugar a un desfase entre ellos. De esta manera la luz que atraviesa el modulador cambia cíclicamente su estado de polarización. Mediante un amplificador *lock-in* puede separarse la señal que llega al detector en los armónicos de la frecuencia de excitación del modulador.

La muestra está sometida a un campo magnético externo que producen los carretes de Helmholtz, (H) en la Fig. 1.1.3, en la dirección perpendicular al plano óptico. Aunque los carretes están diseñados para producir un campo homogéneo en la región de la muestra, de dimensión lateral típica inferior a 25 mm, a la vez que lo más intenso posible, dada la fuente de alimentación bipolar de la que se dispone en el laboratorio,<sup>2</sup> el máximo campo magnético es por el momento de 25 mT de amplitud. Las muestras que se estudian son típicamente películas delgadas de espesor  $\lesssim 1 \mu\text{m}$  y dimensión lateral típica 25 mm. Es necesario hacer un sistema generador de campo magnético, razonablemente homogéneo en dicho volumen de  $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 1 \mu\text{m}$ . Dicho sistema debe poder generar campo magnético en el plano de la muestra, en diferentes orientaciones entre el plano óptico y la perpendicular al mismo. De esta manera puede hacerse uso de los efectos Kerr magneto-ópticos transversal y longitudinal. Hacer uso del efecto polar requeriría modificar considerablemente el sistema actual de soporte de la muestra.

## 1.2. Material y geometría del núcleo magnético

Una vez decidida la fabricación de un electroimán como sistema generador de campo magnético, la parte esencial del mismo es el núcleo de material ferromagnético blando. Se suele usar en los electroimanes comerciales una aleación de Fe-Co como núcleo (o pieza polar) del electroimán, debido a su alta imanación de saturación. En este proyecto se ha pensado en el uso de la chapa de Fe-Si comercial, que se emplea como núcleo de los transformadores, debido a su menor coste. Una

	Fe - Si			Fe - Co		
<i>Aleación</i>	Fe - Si 1 %	Fe - Si 2.5 %	Fe - Si 4 %	Fe - Co 49 %	Fe - Co 27 %	Fe - Co 15 %
<i>Nombre comercial</i>	Silicon Core Iron A, B, C			Hiperco® Alloy 49, 27, 15		
Composición (%)	Mn 0.15, C 0.03			V 2	Ni y Cr 0.6	Mn 2.7
$B_s$ (T)	2.10	2.06	2.0	2.4	2.36	2.2
$\mu$	$4.5 \times 10^3$	$5.0 \times 10^3$	$4.0 \times 10^3$	$4.0 \times 10^3$		
$T_c$ (°C)	810	800	790	940	925	
$\rho$ ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	25	40	58	40	19	40
T - t	850°C - 4 h		750 a 1060°C	870°C - 4 h	900°C - 4 h	700°C

Cuadro 1.1: Propiedades de aleaciones magnéticas: inducción máxima,  $B_s$ . Permeabilidad,  $\mu$ . Temperatura de Curie,  $T_c$ . Resistividad eléctrica,  $\rho$ . Tratamiento térmico de optimización magnética, T - t. De *Carpenter Technology Corporation* [6].

comparativa de las propiedades típicas de algunas de estas aleaciones se muestra en la tabla 1.1.

Para un estado magnético dado de este medio material, la homogeneidad y la intensidad del campo magnético producido en el entrehierro, donde se va a situar la muestra en estudio, depende de la geometría con que se diseñe la pieza polar. Un ejemplo de cómo son las líneas del campo magnético producido por un núcleo con forma cilíndrica en el que se ha practicado un agujero,

<sup>2</sup>Kepco, modelo BOP 36-12M, capaz de suministrar hasta  $\pm 12 \text{ A}$  de amplitud a  $\pm 36 \text{ V}$ , desde dc hasta  $\sim 10 \text{ kHz}$ , dependiendo de la carga. Dada la enorme inductancia de los carretes, los ciclos magnéticos se vienen haciendo a frecuencias entre 0.1 y 2 Hz. Por encima de este límite superior de frecuencia, la fuente no es capaz de generar la máxima intensidad nominal a la tensión máxima de salida.

cortando el medio material en la dirección radial, se ilustra en la Fig. 1.2.1, extraída de [7]. La determinación de cómo es este campo magnético requiere de matemáticas avanzadas, así como de un curso de magnetismo del nivel de las Refs. [8, 9], que no se contemplan a lo largo de la diplomatura en Ingeniería Técnica Industrial, que el autor del presente proyecto ha cursado. Por este motivo, una modelización para encontrar bajo qué geometrías el campo magnético producido satisface ciertos requerimientos de intensidad y homogeneidad se ha dejado fuera del presente proyecto. Posiblemente por tratarse también de un trabajo elaborado y riguroso, podría ser objeto de un proyecto de fin de carrera por sí solo.

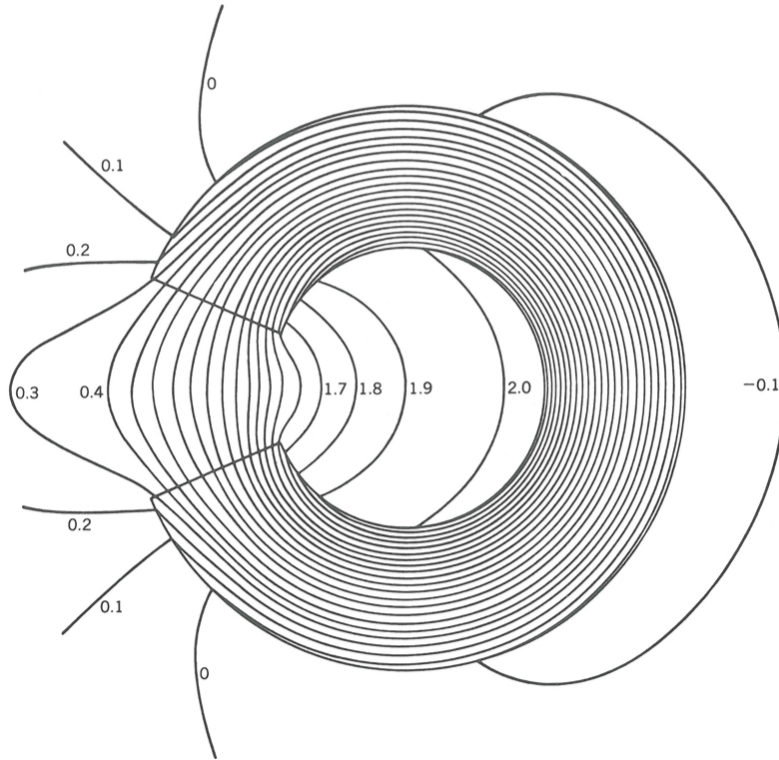


Figura 1.2.1: Líneas de la inducción magnética  $\mathbf{B}$  creada por un núcleo magnético con forma de cilindro ranurado, ilimitado en la dirección  $Z$ , perpendicular al plano del dibujo. De [7]. Los valores numéricos corresponden al potencial magnético vector  $\mathbf{A}$ , dado que las líneas de  $A_z = cte$  coinciden en este problema con las del campo  $\mathbf{B}$ .

## Capítulo 2

# Desarrollo del diseño

Con el objetivo de crear la infraestructura necesaria para realizar labores de investigación en el ámbito de la física, y en particular del magnetismo, en el campus de Tudela de la UPNa, se aceptó la propuesta de Proyecto Fin de Carrera del profesor del Departamento de Física, Ricardo Ortega Hertogs, para el diseño, caracterización y fabricación de un electroimán para magneto-óptica Kerr, con el propósito de mejorar parte de un sistema experimental ya existente.

En primer lugar, tuvimos reuniones en las que se me mostró el sistema experimental existente y obtuve la información relevante del sistema experimental y de las restricciones que impone dicho sistema, además de algunas ideas sobre posibles diseños. Dichas reuniones ayudaron a identificar la clave del problema o problemas, a debatir sobre nuevos puntos de vista al respecto y finalmente a proponer un nuevo diseño, sustancialmente diferente de las ideas preliminares sugeridas. El nuevo diseño es:

- ajustado a los requerimientos del sistema experimental existente,
- sencillo de manejo y versátil, por cuanto que permite:
  - cambiar las piezas polares del electroimán por otras de diferente geometría, adecuadas a diferentes dimensiones de muestras o a diferente perfil de líneas de campo aplicado,
  - ajustar de manera reproducible el acimut ( $\theta$ ) del campo magnético con respecto al plano de la muestra con una resolución de  $0.1^\circ$ ,
  - cambiar de manera reproducible la orientación ( $\phi$ ) del campo magnético aplicado, con una precisión de  $1^\circ$  ó mejor, tanto manualmente como de manera automatizada mediante un motor eléctrico,
  - retirar y reponer el electroimán para intercambiar la muestra con facilidad,
- todo ello en un espacio de dimensiones notablemente reducidas.

En las primeras reuniones celebradas se expuso una serie de bocetos (Fig.2.0.1a, 2.0.1b), que llevó a aclarar que:

- es esencial evitar materiales magnéticos en el soporte, que podrían modificar el campo magnético en la región de ubicación de la muestra,
- las piezas polares (núcleo de material ferromagnético blando, Sec. 3.2.23) no necesariamente deben tener un espesor mayor de 3 mm, dado que el espesor de las muestras a estudiar es inferior o del orden de  $1\ \mu\text{m}$ ,

- no se puede o es preferible evitar el modificar la configuración del banco óptico existente,
- el sistema debe permitir aplicar el campo magnético en diferentes orientaciones ( $\phi$ ), para poder observar los efectos Kerr transversal y longitudinal, o en posición oblicua (Sec. 3.2.17),
- debe ir montado en un soporte adecuado al banco óptico, que permita su posicionamiento (traslación en el brazo del banco, Sec. 3.2.13) a la zona de la muestra como si de un elemento óptico más se tratara,
- debe permitir que, al cambiar la orientación de la luz incidente sobre la muestra, pueda cambiarse el acimut ( $\theta$ ) del campo magnético aplicado para hacerlo coincidir con el del plano de la muestra (Sec. 3.2.5). Debe poder hacerse de manera reproducible y con precisión de  $1^\circ$  ó mejor (Secs. 3.2.8 y 3.2.11),
- reducir la posible transmisión de vibraciones causadas por la aplicación de un campo magnético alterno, de muy baja frecuencia (Sec. 3.2.3) —debido al efecto magnetostrictivo de las piezas polares—.

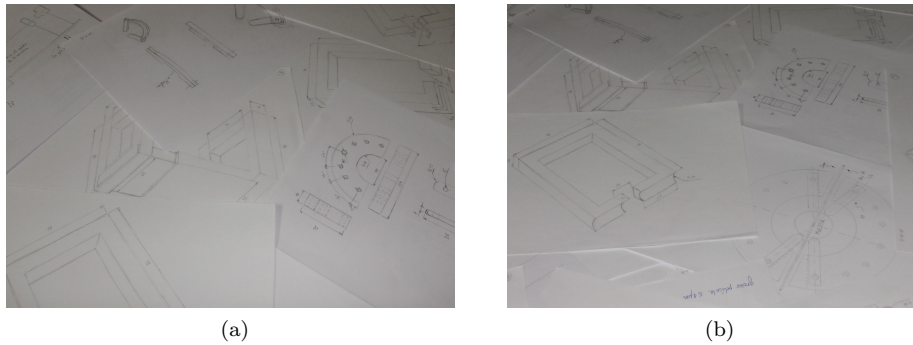


Figura 2.0.1: Bocetos preliminares de la propuesta del diseño.

Esto llevó a realizar una serie de dibujos en 2D (*Autocad* 2013) [10] (Fig.2.0.2a, 2.0.2b), y acordar nuevos conceptos en posteriores visitas, como las medidas que debe ocupar, componentes mecánicos de traslación o ajuste e incluso sistemas antivibración.

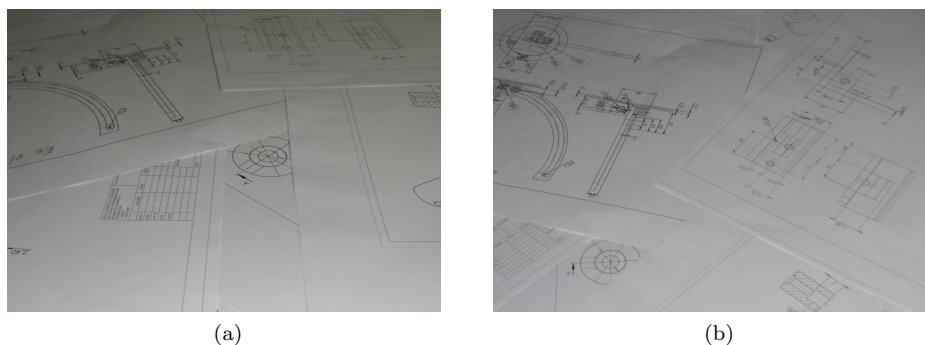
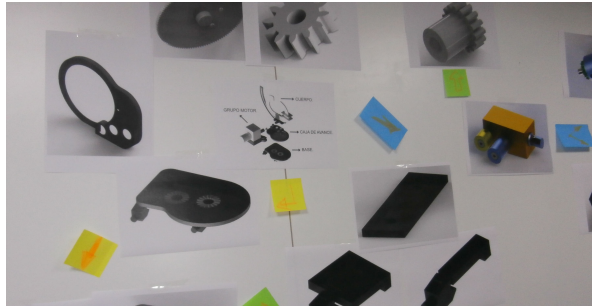
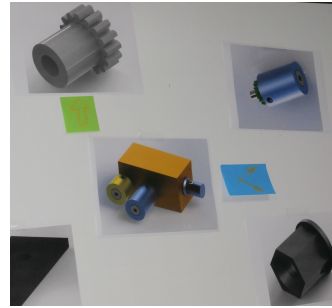


Figura 2.0.2: Primeros dibujos en *Autocad* de la propuesta final de diseño.

En las últimas sesiones y con ayuda de programas en 3D (*Solidworks* 2012) [11] (Fig. 2.0.3a, 2.0.3b), se han reajustado los diseños, detallándolos y evaluándolos para ver que todo el conjunto ha alcanzado los objetivos propuestos.



(a)



(b)

Figura 2.0.3: Dibujos 3D de algunas de las piezas del diseño final, en *Solidworks*.



## Capítulo 3

# Diseño detallado del soporte del electroimán para MOKE

A continuación se identifica el soporte del electroimán a partir de 4 zonas llamadas base, caja de avance, cuerpo y grupo motor, ilustradas en la (Fig.3.0.1). Cada zona está formada por una serie de piezas donde más adelante se describe cada uno de estos elementos, destacando sus características fundamentales, la relación que existe entre ellos y los procesos de fabricación a los que están sometidos, así como el tipo de material en su fabricación.

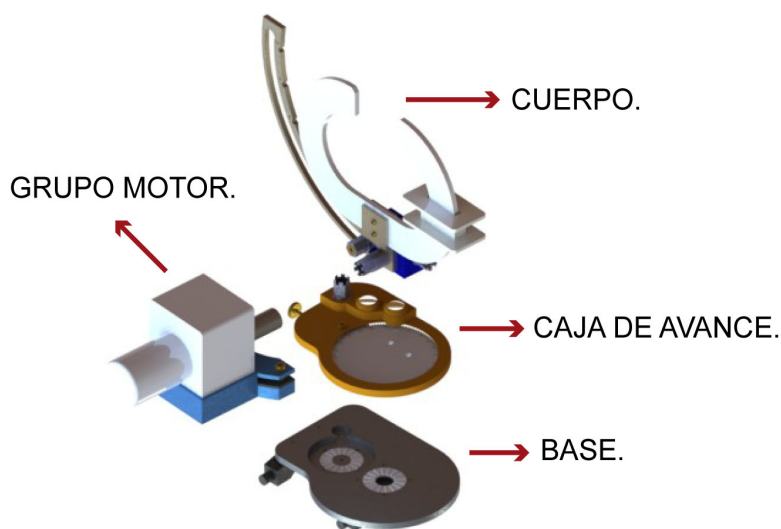


Figura 3.0.1: Grupos del soporte-electroimán para magneto-óptica Kerr.

### 3.1. Identificación de las 4 zonas del soporte

#### 3.1.1. Base

La base (Fig.3.1.1) está compuesta por el bastidor (1), rodamiento (2) (AXK 1024), *silentblocks* (3) (grande y pequeño), mordaza guía (4) (grande y pequeña), vinilo bastidor (5) y tornillos (6) (DIN 653 M2x16 y DIN 7984 M3x8).

Dicho conjunto es el encargado de soportar las demás zonas y anclarse a la guía carril que se encuentra en la mesa óptica.

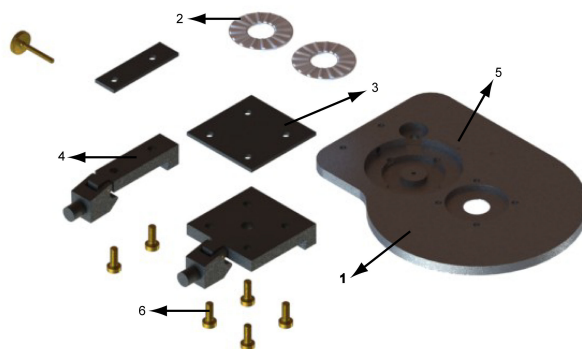


Figura 3.1.1: Base.

### 3.1.2. Caja de avance

Se llama caja de avance (Fig.3.1.2) puesto que está formada por los engranajes de transmisión (1) (engranajes Z.20, Z.12, Z.72 y Z.120). Entre los engranajes Z.12 y Z.72 se encuentra el casquillo Z.12-72 (2). En la tapa de protección (3) se alojan el tambor primario Z.20 (4), lentes PCX (5) sujetas por las bridas lentes (6) y el grupo formado por el *cuerpo* (Sec. 3.1.3). Los distintos elementos están sujetos mediante tornillos o arandelas de seguridad (7) (DIN 913 M3x3, DIN 912 M2x10, DIN 7991 M4x16 y DIN 471 10x1).

No hay que olvidarse de los vinilos graduados para los engranajes Z.120 y Z.72 (8), que se adhieren a éstos. De este modo, y gracias a las lentes, el personal técnico puede ver a qué posición del acimut ( $\theta$ ) se han trasladado los engranajes. En la tabla (3.1) se detalla el ángulo de giro de cada piñón al someter al engranaje Z.20 (rueda conductora) a una vuelta completa ( $360^\circ$ ) [15]:

	Engranaje Z.20	Engranaje Z.72	Engranaje Z.12	Engraaanje Z.120
N <sup>a</sup> de dientes, (Z)	20	72	12	120
Angulo de giro, ( $\theta$ )	$360^\circ$	$100^\circ$	$100^\circ$	$10^\circ$

Cuadro 3.1: Angulo de giro de cada engranaje al dar una vuelta completa el engranaje conductor.

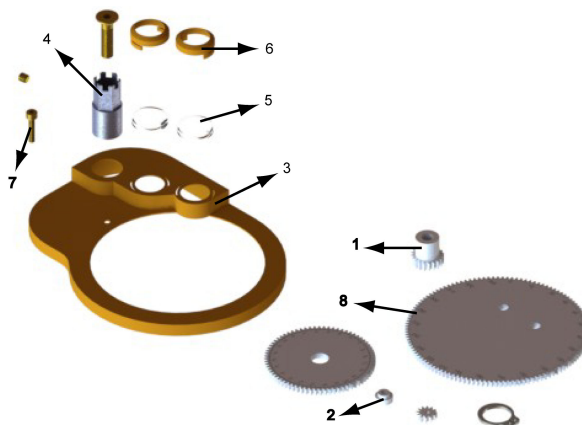


Figura 3.1.2: Caja de avance.



### 3.1.3. Cuerpo

El cuerpo (Fig.3.1.3) se apoya encima de la placa giratoria. Aquí se encuentran el banco (1), el husillo (2), el carro horizontal (3), el *clip* (4), el tambor primario husillo (5), el tambor primario Z.15 (6), el tambor secundario (7), la mordaza giratoria (8), la pieza polar (9), la bobina (10), las bolas cerámicas (11), los vinilos (carro horizontal, banco y mordaza giratoria) (12), engranajes Z.15 (13) y los elementos de unión (14) (DIN 471 4x0.4, DIN 913 M3x3, DIN 7991 M3x16, DIN 913 M2x3 y DIN 913 M4x6). El trabajo encomendado en esta zona se ocupa tanto de la orientación del campo magnético como del centrado de las piezas polares a la muestra.

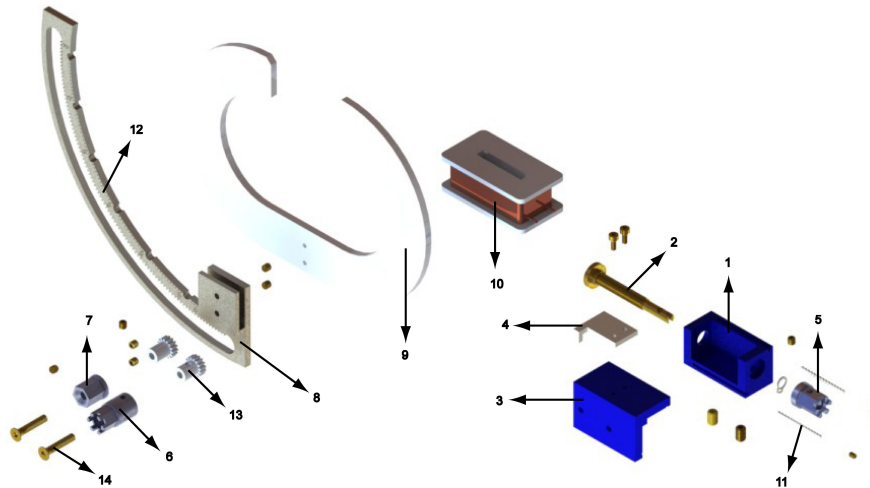


Figura 3.1.3: Cuerpo.

### 3.1.4. Grupo motor

Por medio del grupo motor (Fig.3.1.4) se logra la automatización en la orientación del campo magnético respecto la muestra. Esto es posible gracias al motor reductor (1) (K 30-28.41), al soporte motor (2), al vaso eje-motor (3), a los *silentblocks* (4) (motor y mordaza ranurada) y a los tornillos (5) (DIN 912 M3x16).

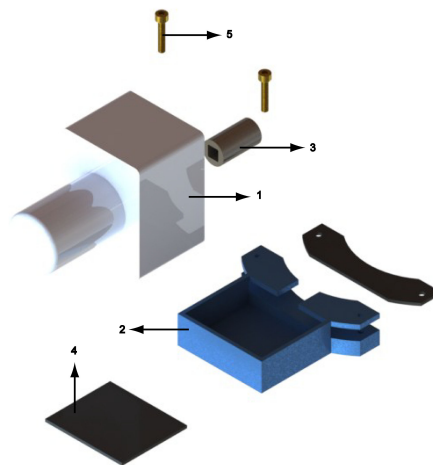


Figura 3.1.4: Grupo motor.

## 3.2. Descripción de los componentes del soporte

### 3.2.1. Bastidor

El bastidor (Fig.3.2.1) es el soporte donde van incorporados el resto de las piezas que forman el soporte-electroimán. Sus dimensiones (Sec. 8.6) deben ser tales que, además de cumplir su misión de soporte, tengan la suficiente rigidez para que no se deforme. En su parte inferior se amarran los sargentos guía (1) junto con los *silentblocks* guía (2). Todo este conjunto va unido por tornillos (3) —DIN 7984 M3x8—.

Por la parte superior, se alojan 2 rodamientos (4) que pueden sustituirse facilmente. En uno de los costados se alojará un tornillo (5) —DIN 653 M2x16— con el fin de hacer de freno una vez que el operario termine de ajustar el acimut ( $\theta$ ) de las piezas polares.

Con el fin de evitar la posible influencia magnética en la zona de la muestra, el bastidor se construye en aluminio, mecanizado en una fresadora vertical.

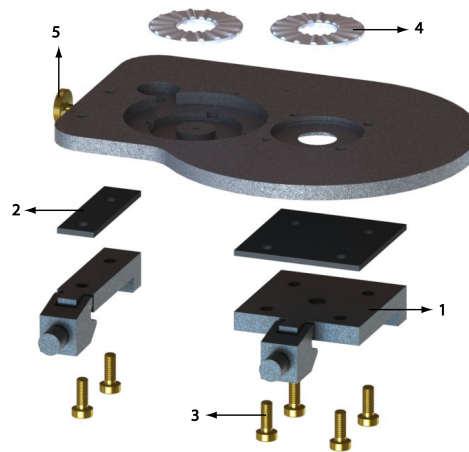


Figura 3.2.1: Bastidor.

### 3.2.2. Mordazas

El objetivo de las mordazas guía (RT 40-34-M3, 14.022.0034 y RT 40-10-M3, 14.022.0010, Fig. 3.2.2) es la sujeción del bastidor (1) con la guía carril, consiguiendo de este modo un primer posicionamiento rápido y sencillo del soporte-electroimán al portamuestras. La unión de éstas al bastidor es por medio de tornillos (2) —DIN 7984 M3x8—. Se encuentran fabricadas en aluminio (Catálogo, Sec. 9.7).

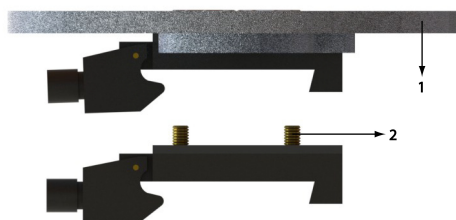


Figura 3.2.2: Mordazas guía.

### 3.2.3. *Silentblocks*

Tienen como misión reducir la posible transmisión de las vibraciones que pueda producir la generación del campo magnético de baja frecuencia, debido al efecto magnetostrictivo del material magnético de chapa de Fe-Si.<sup>1</sup>

Los modelos que existen son los siguientes:

- *Silentblock* guía grande, (Fig. 3.2.3). Ubicado entre el bastidor (1) y la mordaza guía grande (2) mediante los tornillos (3) —DIN 7984 M3x8— que utiliza la mordaza guía grande para amarrarse al bastidor.

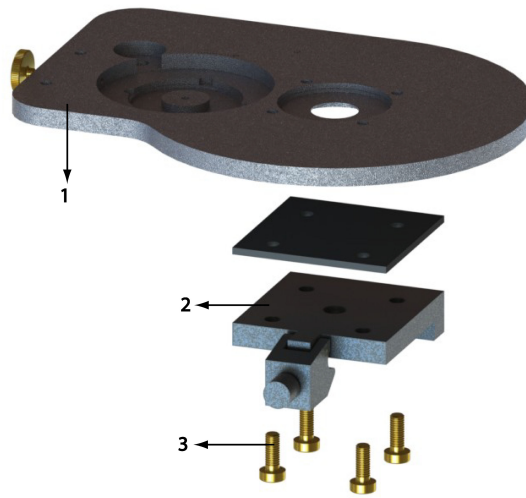


Figura 3.2.3: *Silentblock* guía grande.

- *Silentblock* guía pequeña, (Fig. 3.2.4). Va entre la mordaza guía pequeña (1) y el bastidor (2) sujeto con tornillos (3) —DIN 7984 M3x8— que emplea la mordaza guía pequeña para la unión al bastidor.

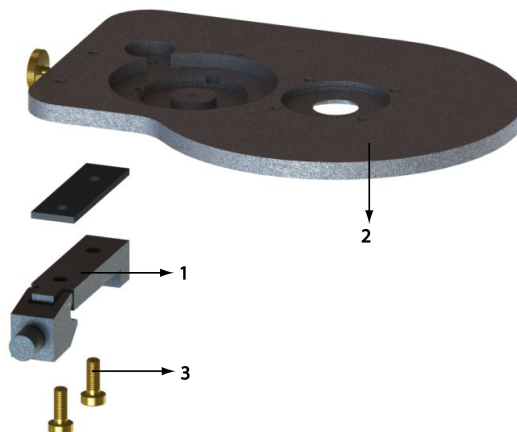


Figura 3.2.4: *Silentblock* guía pequeña.

<sup>1</sup>El zumbido característico de los transformadores de red —el sonido es a frecuencia doble de la red— es debido a este efecto magnetostrictivo del medio material, que consiste en esencia en la deformación mecánica del medio material cuando éste se imana, con independencia de su sentido. Véase, por ejemplo [12, 13].

- *Silentblock* mordaza ranurada (Fig. 3.2.5). Situado en la ranura del soporte motor (1), deja paso a los tornillos (2) —DIN 912 M3x16— de anclaje del soporte-motor.

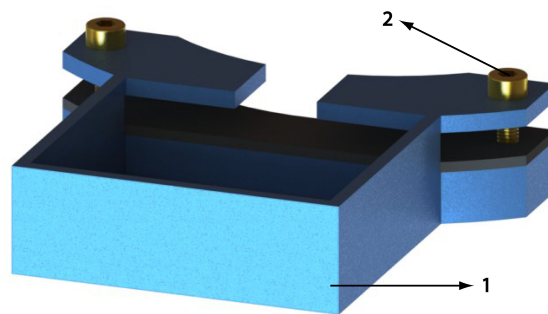


Figura 3.2.5: *Silentblock* mordaza ranura.

- *Silentblock* motor, (Fig. 3.2.6). Se encuentra en el interior del soporte motor (1) donde se aloja el motor reductor (2).

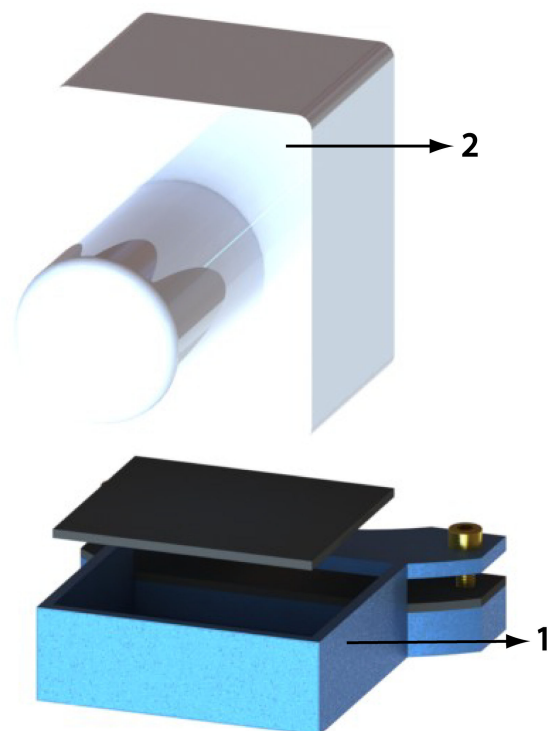


Figura 3.2.6: *Silentblock* motor.

El material es una lámina de caucho natural. Para fabricar los distintos modelos con las medidas adecuadas (Cap. 8 - *silentblocks* guía grande - guía pequeña - mordaza ranurada y motor) se pueden emplear las herramientas habituales de corte manual (*cutter*, tijeras, punzones,...).

### 3.2.4. Rodamientos

Los rodamientos (Fig. 3.2.7), (AXK 1024, Sec. 9.3) van en el interior del bastidor (1) y sirven a los engranajes de la caja de avances (2) para obtener un buen deslizamiento.

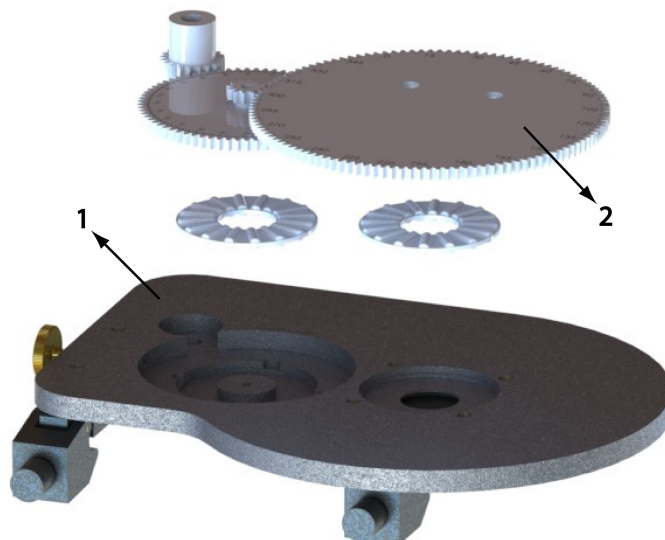


Figura 3.2.7: Rodamiento AXK 1024.

### 3.2.5. Engranajes

Son engranajes prefabricados (Sec. 9.10), de dientes rectos y de material *Delrin* (poliacetal). Hay que someterlos a una serie de modificaciones (Secs. 8.21, 8.7, 8.8, 8.9 y 8.11) con el fin de que cada uno de ellos haga su función en el conjunto.

Los tipos de engranajes son:

- Engranaje Z. 20, (Fig. 3.2.8). Con un número de 20 dientes. Es la rueda conductora (1) de la caja de avances. Utiliza un tornillo (7) —DIN 7991 M4x16— como eje y consigue mantener aquél en su lugar.
- Engranaje Z. 72, (Fig. 3.2.8). Tiene 72 dientes (2) que engranan con la rueda conductora (1) para producir el giro. Un tornillo (8) hace la función de eje para que mantenga su posición.
- Engranaje Z. 12, (Fig. 3.2.8). Con 12 dientes (3), se une al engranaje Z. 72 (2) por medio del casquillo Z. 12-72 (4) que se encuentra entre ambos. El tornillo (8) —DIN 912 M2x10— que utiliza el engranaje Z. 72 (2) como eje es el mismo para el engranaje Z. 12.
- Engranaje Z. 120, (Fig. 3.2.8). Emplea 120 dientes (5) y soporta toda la zona del cuerpo del soporte-electroimán. El cual está sujeto por su eje al bastidor (6) por medio de una arandela de seguridad (9) —DIN 471 10x1—. Tal engranaje es la rueda conducida y su giro ( $\theta$ ) se debe gracias al engranar este con el engranaje Z. 12.

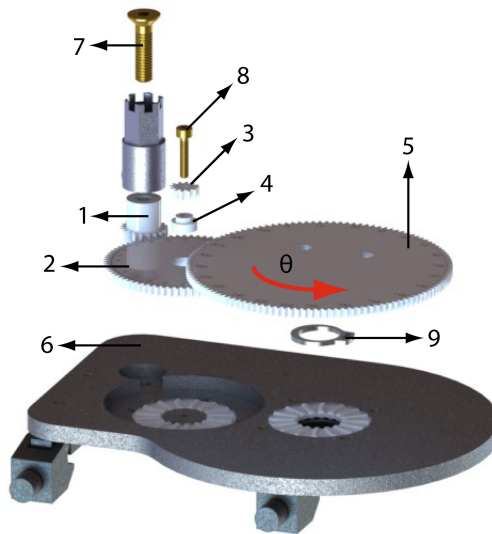


Figura 3.2.8: Engranajes Z.20, Z.72, Z.12 y Z.120.

- Engranaje Z. 15, (Fig.3.2.9). Son dos engranajes (1) y cada uno tiene un número de 15 dientes. El engranaje que se coloque en el agujero central (rueda conductora) engranará con la mordaza giratoria (2) (rueda conducida) para producir el giro ( $\phi$ ). Ambos engranajes utilizarán como ejes tornillos (3) —DIN 7991 M4x16—. En cambio el engranaje que se sitúa a la izquierda, aunque puede también hacer lo mismo que el anterior, tiene como misión evitar que la mordaza giratoria pierda su centro respecto al portamuestras.

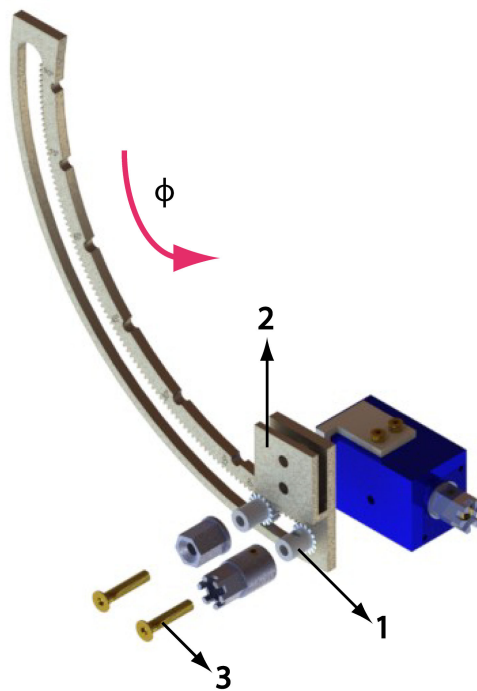


Figura 3.2.9: Engranaje Z.15.

### 3.2.6. Casquillo Z.12-72

El casquillo Z. 12-72 (Fig. 3.2.10), (Sec. 8.10), se encuentra entre el engranaje Z.72 (1) y Z.12 (2), el cual se une a ellos por medio de adhesivos de contacto (tipo *loctite*). Su trabajo es que ambos engranajes giren a la vez. El material del casquillo es de *Delrin* (poliacetal) y es manufacturado en un torno universal.

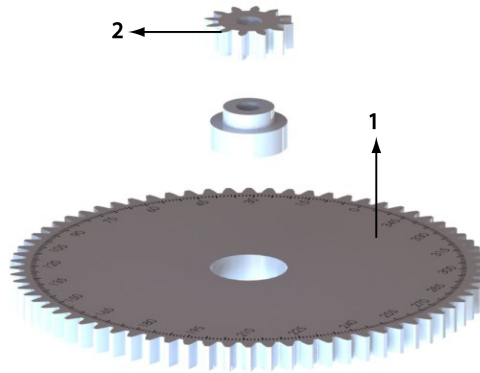


Figura 3.2.10: Casquillo Z.12-72.

### 3.2.7. Tapa de protección

La tapa de protección (Fig. 3.2.11) se ha añadido como protección, para evitar que se pueda dañar el sistema de avance, por ejemplo debido a la caída de residuos sólidos.

Se sujeta a la base del bastidor (1) por medio de un tornillo (2)—DIN 912 M2x10—. La tapa está formada por 4 agujeros, en los 3 más pequeños se posicionan el tambor primario Z.20 (3) y las lentes (4). Finalmente el orificio mas grande hará que las piezas que van encima del engranaje Z.120 (5) puedan moverse sin problemas.

Para su fabricación se moldea una lámina de material PET (tereftalato de polietileno) en una máquina de termoconformado en vacío donde se conseguirán las dimensiones (Sec. 8.15) adecuadas para aislar el conjunto de la caja de avance.

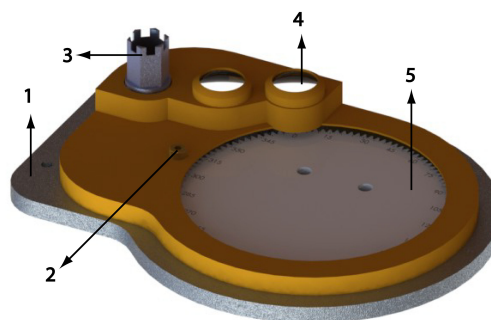


Figura 3.2.11: Tapa de protección.

### 3.2.8. Lente

Son necesarias 2 lentes (Fig. 3.2.12) PCX (plano-convexa) de diámetro 12 mm, longitud eficaz focal 12 mm y tipo de cristal N-SF11 (Catálogos, Sec. 9.5) <sup>2</sup>.

Las lentes (1) se montan encima de los orificios que tiene la tapa de protección (2) para poder ver con claridad las marcas graduadas de los diferentes vinilos (3) y poder posicionar adecuadamente el soporte-electroimán a la muestra.

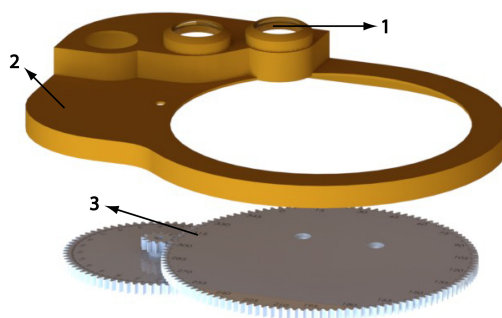


Figura 3.2.12: Lente PCX (plano-convexa).

### 3.2.9. Brida lente

La brida lente (Fig. 3.2.13) tiene dos patillas ranuradas, las cuales se quedan ancladas a la tapa de protección (1) al girarlas en sentido antihorario, lo que hace prisioneras las lentes (2).

Se fabrica a partir de una lámina de material PET (tereftalato de polietileno) y conociendo sus dimensiones (Sec. 8.16) se moldea en una máquina de estampación en vacío.

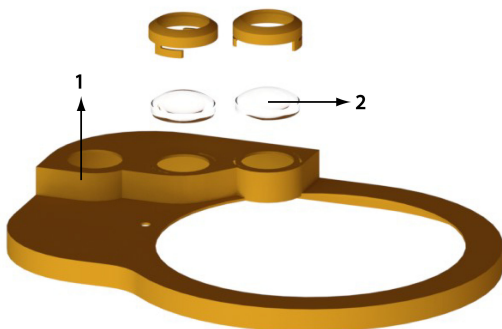


Figura 3.2.13: Brida lente.

### 3.2.10. Tambores

Todos ellos van atornillados a los correspondientes ejes de los engranajes y al husillo con tornillos (1) —DIN 913 M3x3— de modo que todos ellos actúen de forma simultánea al girar. El giro de éstos puede hacerse de dos formas: mediante la ayuda del vaso eje-motor o en el caso de que no fuera posible, con un destornillador plano, actuando sobre las ranuras que se encuentran en la cabeza de los tambores.

<sup>2</sup>Las especificaciones adicionales son: longitud focal posterior 9.76 mm, espesor en el centro 4 mm, espesor del borde 1.84 mm, radio de lente 9.42 mm.



Modelos de tambor que se emplean en el soporte-electroimán:

- Tambor secundario, (Fig. 3.2.14). Mediante un tornillo (2) —DIN 7991 M3x16— el tambor secundario es unido al eje del engranaje Z.15 (3) . Este debe de guiar y sostener la mordaza giratoria (4) y como último recurso ser pionero en transmitir el giro de la mordaza giratoria.
- Tambor primario Z. 15, (Fig. 3.2.14). Este es el encargado de provocar el giro ( $\phi$ ) de la mordaza giratoria (4). Se une al engranaje Z. 15 (3) (rueda conductora) del mismo modo que el tambor secundario.
- Tambor primario husillo, (Fig. 3.2.14). Encargado del movimiento de giro del husillo (5). El propósito de este es hacer que la parte ranurada de la pieza polar (6) este centrada con la muestra.
- Tambor primario Z.20, (Fig. 3.2.14). El engranaje Z. 20 (7) sujeto por medio de un tornillo (8) —DIN 7991 M4x16—, consigue que los engranajes de la caja de avance (9) giren un ángulo ( $\theta$ ) para colocar en el acimut deseado a las piezas polares (6).

El material del que están formados los tambores es de aluminio, al cual se somete a procesos de: torno universal, fresadora universal y taladro de mesa, adquiriendo la forma adecuada (Sec. 8.22, 8.23, 8.19, 8.14).

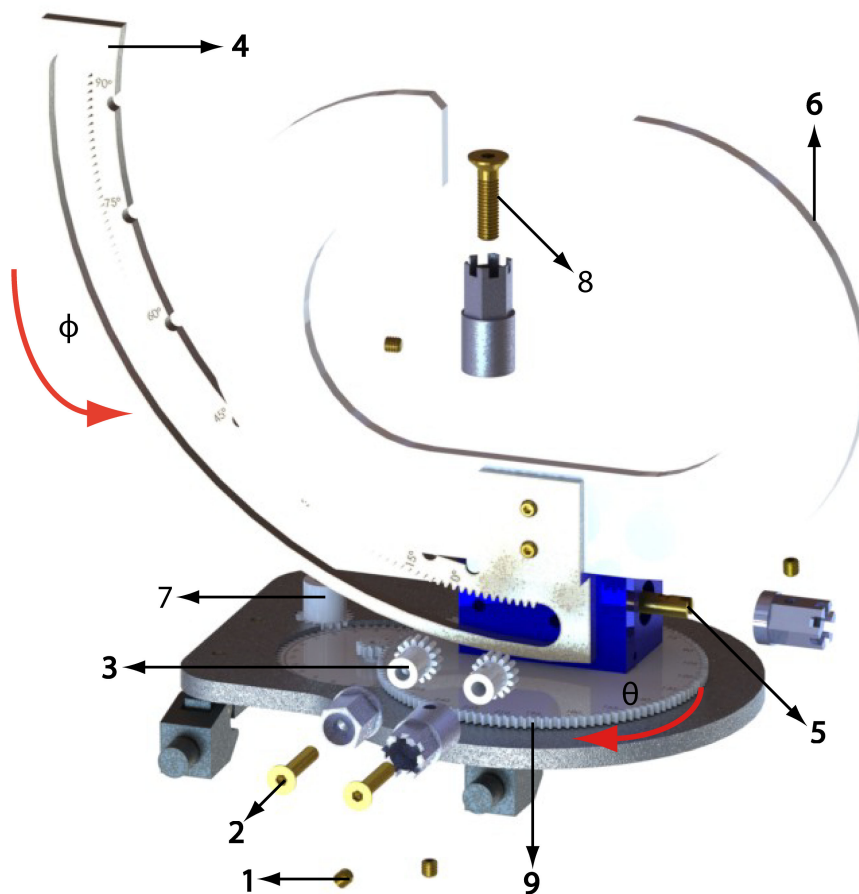


Figura 3.2.14: Tambore primarios y secundario.

### 3.2.11. Vinilos

Los vinilos graduados están adheridos a los engranajes respectivos y al bastidor. La graduación permite que el operario vea en qué acimut  $[\theta]$  está orientado el campo magnético.

Identificación y posición de los distintos modelos:

- Vinilo engranaje Z. 72, (Fig. 3.2.15). Da la escala graduada dividida en grados. Irá adherido en el engranaje Z. 72 .

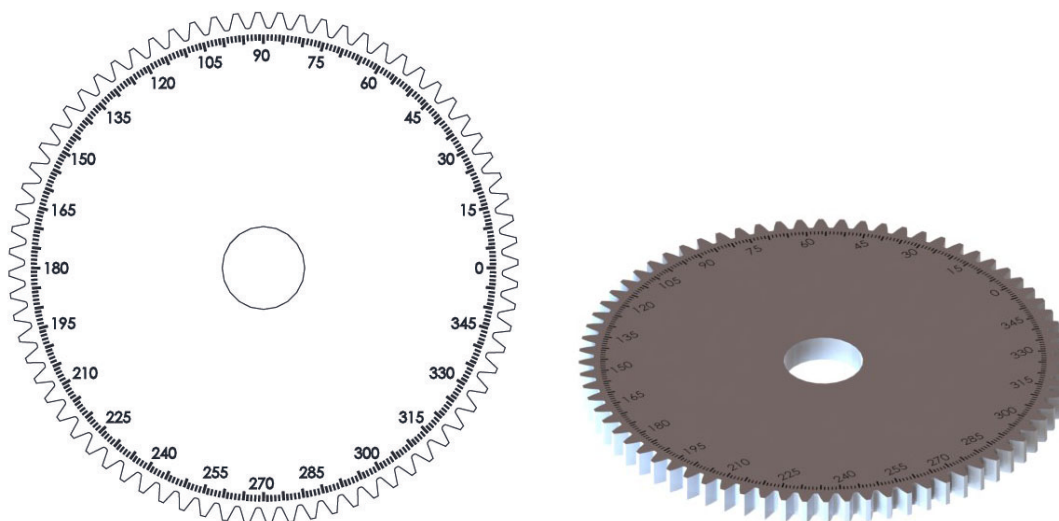


Figura 3.2.15: Vinilo engranaje Z.72.

- Vinilo engranaje Z. 120, (Fig. 3.2.16). Colocado en el engranaje Z. 120, da la lectura de grados enteros.

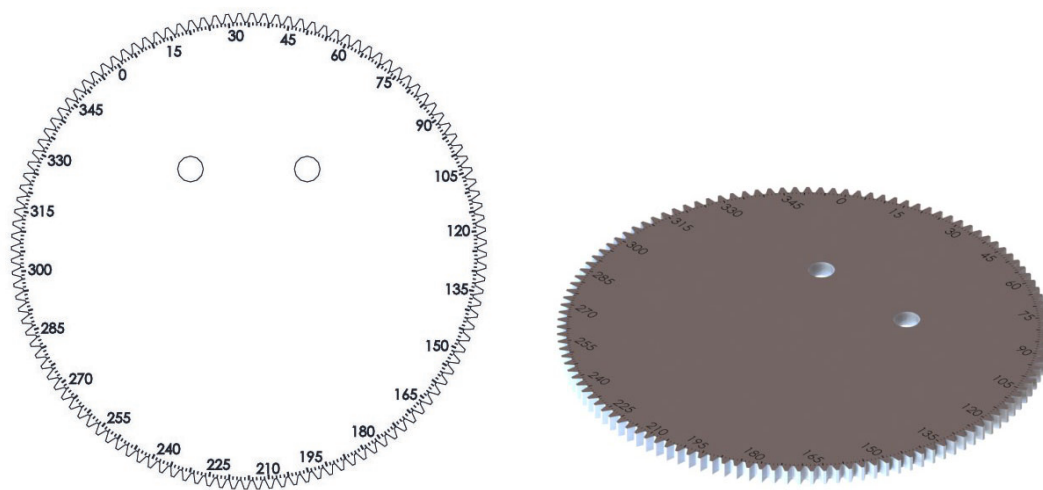


Figura 3.2.16: Vinilo engranaje Z.120.

- Vinilo bastidor, (Fig. 3.2.17). Ubicado en el bastidor. El *nonius* del engranaje Z. 72 está dividido de 5 en 5 minutos de arco (5'), o sea, un doceavo de grado y cada espacio sobre él

limita dos espacios a la escala [14]. En cambio el *nonius* del engranaje Z. 120 es sencillo ya que dispone unicamente de una sola marca “0” dando una lectura simple en grados.

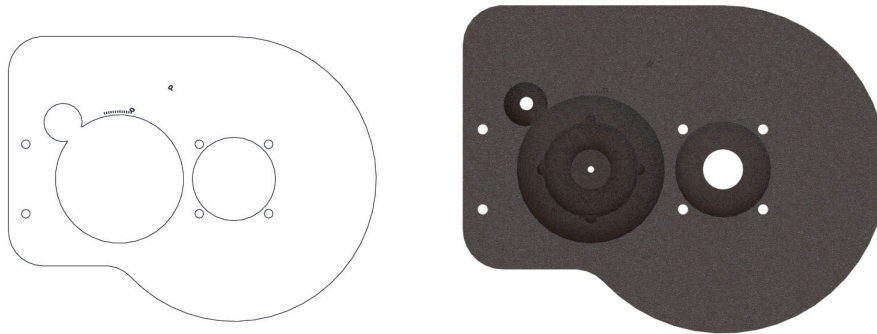


Figura 3.2.17: Vinilo bastidor.

- Vinilo mordaza giratoria, (Fig. 3.2.18). Pegado en la la mordaza giratoria. Debajo de cada muesca de la mordaza giratoria se encuentra el número que corresponde al ángulo que se tome.

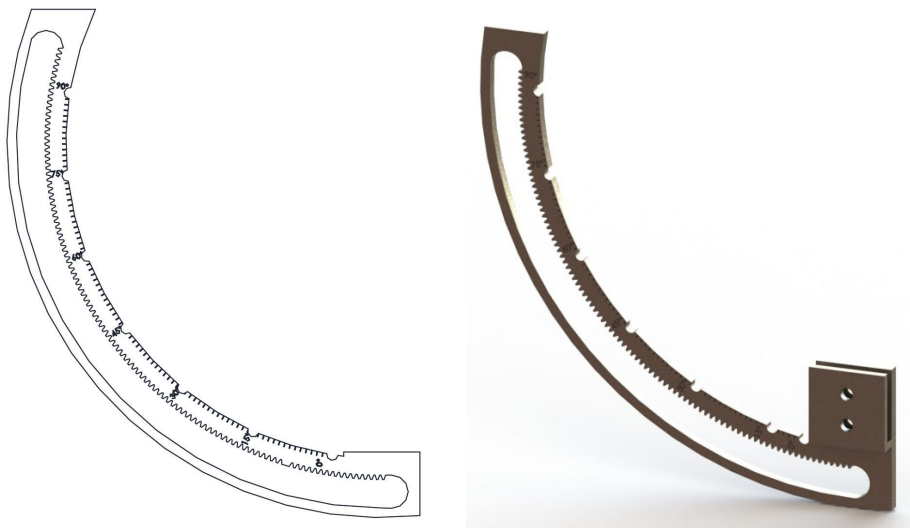


Figura 3.2.18: Vinilo mordaza giratoria.

- Vinilo banco, (Fig. 3.2.19). Dividida en milímetros, está situado en el banco.

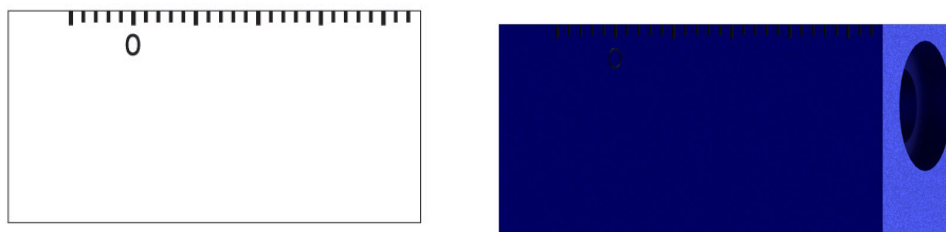


Figura 3.2.19: Vinilo banco.

- Vinilo carro horizontal, (Fig. 3.2.20). Lleva grabado el *nonius* y tiene una precisión de 0.05 mm. Está ubicada en el carro horizontal.



Figura 3.2.20: Vinilo carro horizontal.

### 3.2.12. Banco

El banco (Fig. 3.2.21) esta pensado para que sus dimensiones (Sec. (8.17)) alojen en su interior al husillo (1) y en las caras exteriores instalar bolas cerámicas (2), impidiendo que no escapen mediante tornillos (3) —DIN 913 M2x3—. El banco se une por 2 tornillos (4) —DIN 913 M4x6— al engranaje Z.120 (5).

El material para su construcción es de aluminio y producido mediante fresadora vertical y taladros de mesa.

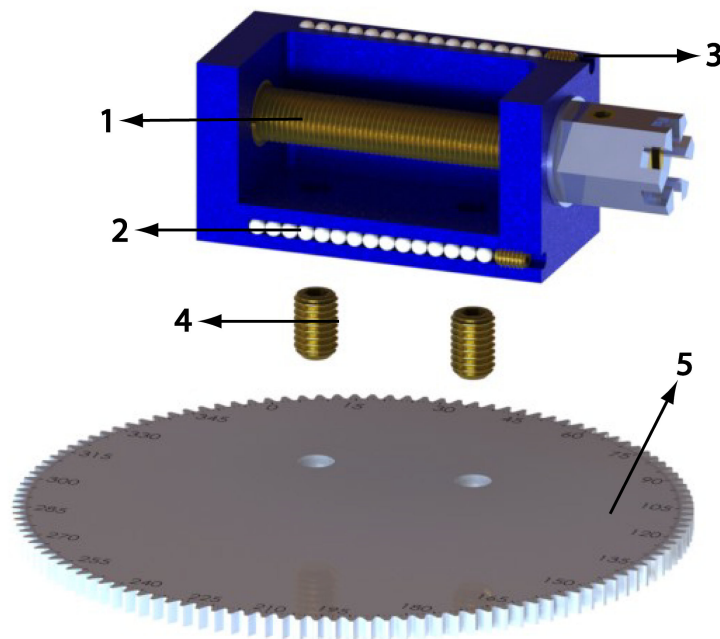


Figura 3.2.21: Banco.

### 3.2.13. Husillo

El husillo (Fig. 3.2.22) está diseñado para centrar las puntas de la pieza polar a la muestra. Una arandela de seguridad (1) —DIN 471 4x0.4— evita la liberación de su posición. Dispone en un extremo de una ranura (2) para provocar el giro con un destornillador plano. El paso de la zona

roscada es de 0.5 mm, con lo que una vuelta del husillo corresponde a una longitud de 0.5 mm de desplazamiento del carro horizontal. La precisión que se obtiene con el husillo corresponde a 0.05 mm [15].

Esta fabricado a partir de las medidas adecuadas (Sec. 8.18) en latón con ayuda de un torno universal y fresadora vertical.

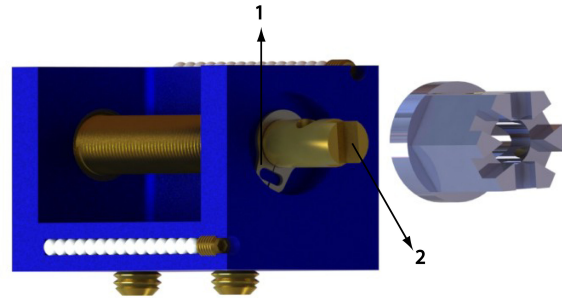


Figura 3.2.22: Husillo.

### 3.2.14. Carro horizontal

El carro horizontal (Fig. 3.2.23) puede trasladarse longitudinalmente por el banco (1) gracias al husillo (2). En las caras exteriores se unirá el *clip* (3) mediante tornillos (4) —DIN 912 M2x5— y la mordaza giratoria (5) irá sujeta mediante el conjunto de los tornillos —DIN 7991 M3X16—, tambores y engranajes Z.15 (6).

Se fabrica a partir de un perfil macizo de aluminio que es manufacturado por medio de procesos de fresadora vertical y taladro de mesa a las medidas requeridas (Sec. 8.20 - *carro horizontal*).

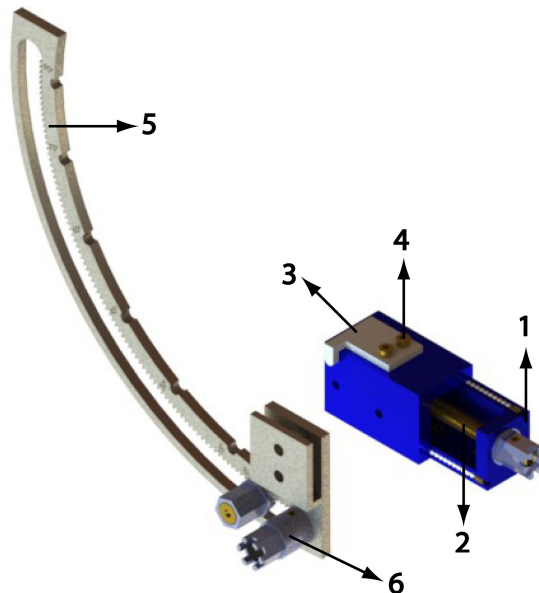


Figura 3.2.23: Carro horizontal.

### 3.2.15. Bolas cerámicas

Son bolas cerámicas (Fig. 3.2.24, Sec. 9.6) de diámetro 1.5 mm. Estas se encuentran en el banco (1) con el fin de dar un buen asentamiento y desplazamiento del carro horizontal (2) con el banco.

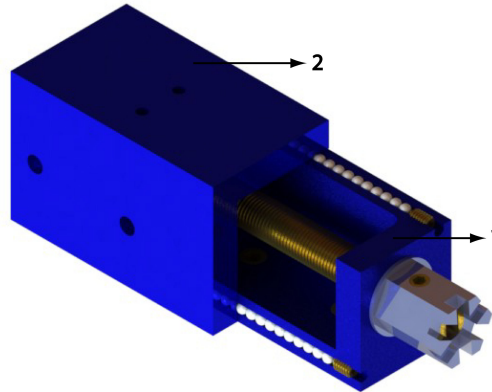


Figura 3.2.24: Bola cerámica.

### 3.2.16. Clip

El *clip* (Fig. 3.2.25) tiene una pequeña y elástica lengüeta que provoca el bloqueo de la mordaza giratoria (1). Se emplean tornillos (2) —DIN 912 M2x5— para la sujeción en el carro horizontal (3). El material del que está hecho es *nylon* y para obtener las medidas (Sec. 8.25) adecuadas se manufacturará por medio de fresadora vertical y taladro de mesa.

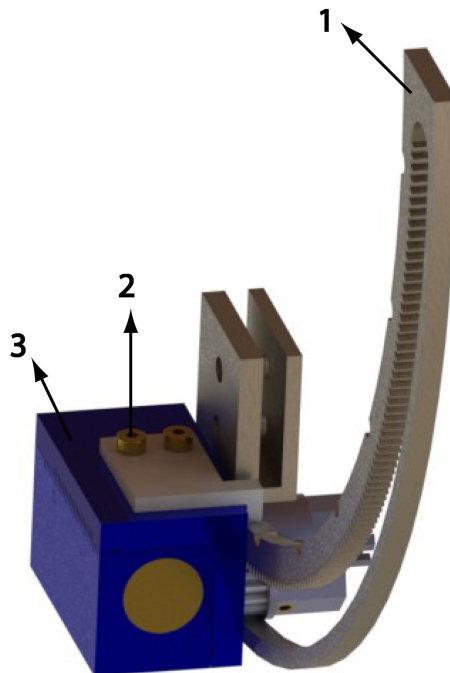


Figura 3.2.25: Clip.

### 3.2.17. Mordaza giratoria

La mordaza giratoria (Fig. 3.2.26) hace que la pieza polar (1) vaya montada sobre ésta por medio de tornillos (2) —DIN 913 M3x3— y así rote concéntricamente sobre la muestra. El giro ( $\phi$ ) se provoca por medio del conjunto ensamblado de tornillo —DIN 7991 M3X16—, tambor primario y engranaje Z.15 (3) que mueven a la mordaza giratoria (4). Puede posicionarse de grado en grado, entre  $0^{\circ}$  y  $90^{\circ}$ , ó situarse en las marcas talladas que se encontrarán en intervalos de  $15^{\circ}$ .

Su fabricación (Sec. 8.24) es en aluminio mediante procesos de electroerosión por hilo, fresadora vertical y taladro de mesa.

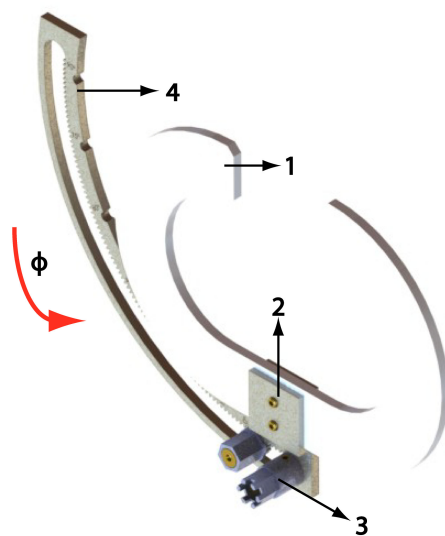


Figura 3.2.26: Mordaza giratoria.

### 3.2.18. Soporte motor

El soporte motor (Fig. 3.2.27) se ancla al bastidor (1) por medio de tornillos (2) —DIN 912 M3x16— el cual sostiene al motor reductor (3). Las posibles vibraciones que genere el motor-reductor son amortiguadas por los *silentblocks* (4) (mordaza ranura y motor).

El soporte motor (Sec. 8.26) es de aluminio y es elaborado en trabajos de fresadora vertical y taladro de mesa.

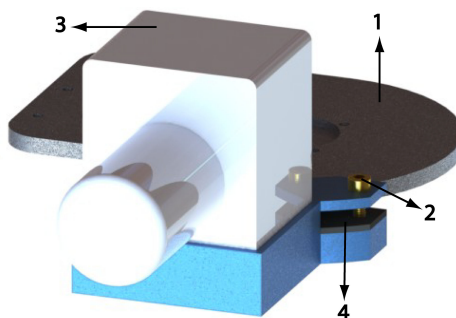


Figura 3.2.27: Soporte motor.



### 3.2.19. Vaso del eje-motor

Su trabajo es producir el movimiento de giro de los distintos tambores, ya sea de forma manual o por medio del motor-reductor. Se ha encontrado un ítem comercial (Fig. 3.2.28), (Catálogos, Sec. 9.8), el cual cumple con las características necesarias para su utilización.

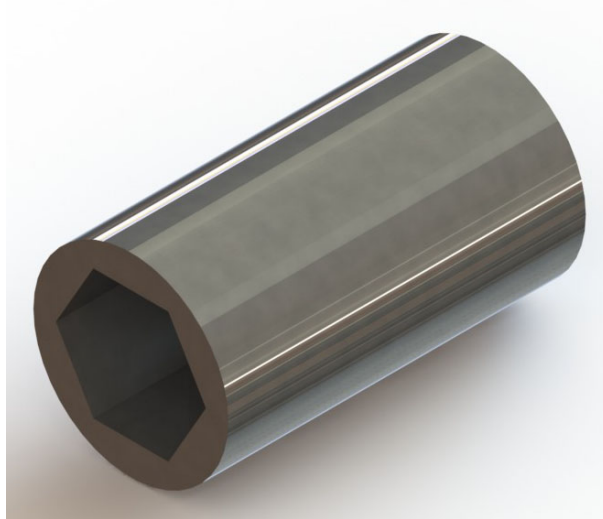


Figura 3.2.28: Vaso eje motor.

### 3.2.20. Motor-reductor

El motor-reductor (Fig. 3.2.29), (Catálogos, Sec. 9.4) se emplea para girar la mordaza giratoria (1) el ángulo ( $\phi$ ) apropiado. Es de corriente continua (C.C) 24V, aportará una velocidad en vacío ( $V_0$ ) 17 r.p.m, velocidad nominal ( $V_n$ ) 13 r.p.m y par nominal 1.1 Nm. Tal componente va alojado en el interior del soporte motor (2).

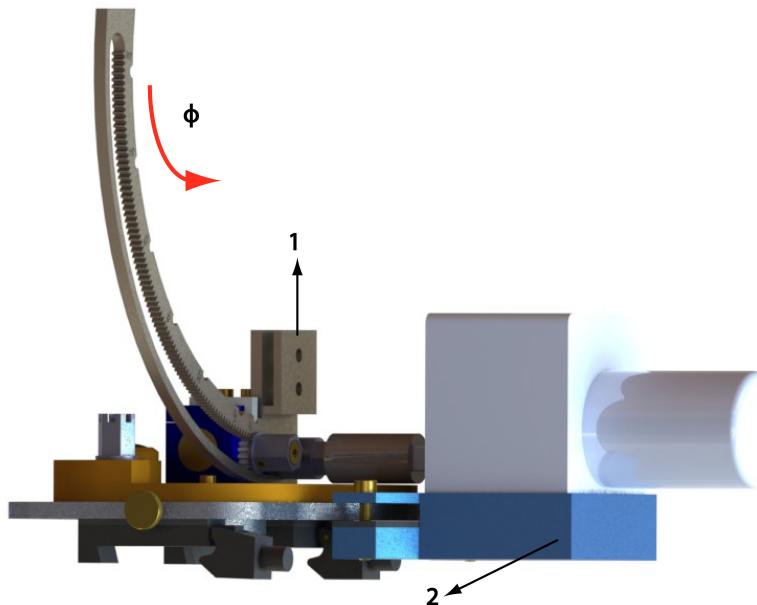


Figura 3.2.29: Motor reductor K 30-28.41.



### 3.2.21. Tornillos

Todos los tornillos (Fig. 3.2.30) utilizados para el soporte-electroimán serán de latón (Catálogos, Sec. 9.1). Es imperativo no usar acero magnético, no sólo porque pudiera afectar (aunque levemente) al campo producido por las piezas polares, sino sobre todo porque las fuerzas de atracción causadas por la generación del campo magnético darían lugar a vibraciones indeseadas.

Se especifica en la tabla (3.2 ) el posicionamiento de los distintos tipos de tornillos que forman el soporte-electroimán.



Figura 3.2.30: Tornillos de latón.

Sección	Posición	Tipo tornillo	Cantidad
(3.2.1)	Bastidor (tornillo freno)	DIN 653 M2x16	1
(3.2.18)	Soporte motor	DIN 912 M3x16	2
(3.2.7)	Tapa de protección	DIN 912 M2x10	1
(3.2.16)	<i>Clip</i>	DIN 912 M2x5	2
(3.2.17), (3.2.10)	Mordaza giratoria y tambores	DIN 913 M3x3	8
(3.2.15)	Banco (bolas cerámicas)	DIN 913 M2x3	2
(3.2.12)	Banco (engranaje Z.120)	DIN 913 M4x6	2
(3.2.2)	Mordaza guía	DIN 7984 M3x8	6
(3.2.10)	Tambor Z.15	DIN 7991 M3x16	2
(3.2.10)	Tambor Z.20	DIN 7991 M4x16	1

Cuadro 3.2

### 3.2.22. Arandelas de seguridad

Se han definido dos modelos de arandelas de seguridad ( Fig. 3.2.31), (Catálogos, Sec. 9.2) que impiden la desconexión en aquellos elementos en los que se montan, tabla (3.3).

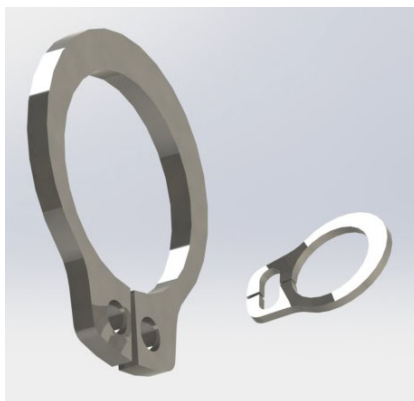


Figura 3.2.31: Arandelas de seguridad.

Sección	Posición	Tipo tornillo	Cantidad
(3.2.5)	Engranaje Z.120	DIN 471 10x1	1
(3.2.13)	Husillo	DIN 471 4x0.4	1

Cuadro 3.3

### 3.2.23. Piezas polares

Se desconoce la forma geométrica que tendrán de momento las piezas polares (Fig. 3.2.32), pero no cabe duda de que éstas deben albergar la muestra de estudio. La geometría de las mismas determina el perfil de líneas del campo magnético generado. Un adecuado tratamiento térmico (o magneto-térmico) permite optimizar el comportamiento del medio material: aumentar su permeabilidad y reducir su campo coercitivo. De esto se hablará más adelante (Cap. 4). Van montadas en la mordaza giratoria (Sec. 3.2.17) y sujetas por tornillos —DIN 913 M3X3—. Puesto que la muestra en estudio es de un espesor típico inferior a  $1\mu m$ , se fabricarán 6 piezas polares de espesor 0.5 mm de material ferromagnético blando, cuyo perfil puede moldearse por medio de una máquina de corte de chorro por agua, disponible en el campus de Tudela de la UPNa.



Figura 3.2.32: Pieza polar.

### 3.2.24. Bobina

Es un arrollamiento hecho con hilo de cobre. Alimentado con corriente eléctrica, genera un campo magnético que imana las piezas polares del electroimán (Fig. 3.2.33). Sus dimensiones dejarán paso a las piezas polares a través de su eje central. El hilo se arrolla sobre un molde fabricado en *nylon*.

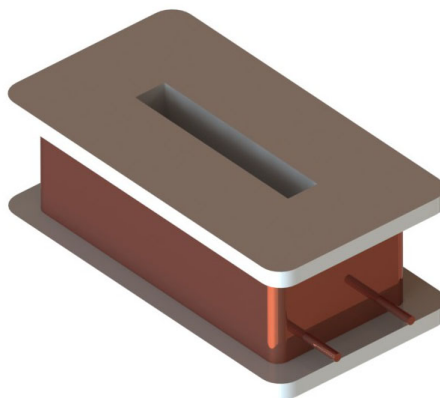


Figura 3.2.33: Bobina.

### 3.2.25. Mango articulado

La punta del mango articulado (Fig. 3.2.34) se une con el vaso eje-motor (1). Esta herramienta facilita la manipulación de los movimientos de giro de los diferentes tambores al personal técnico.

Es un accesorio de obtención comercial, (Catálogos, Sec. 9.9).



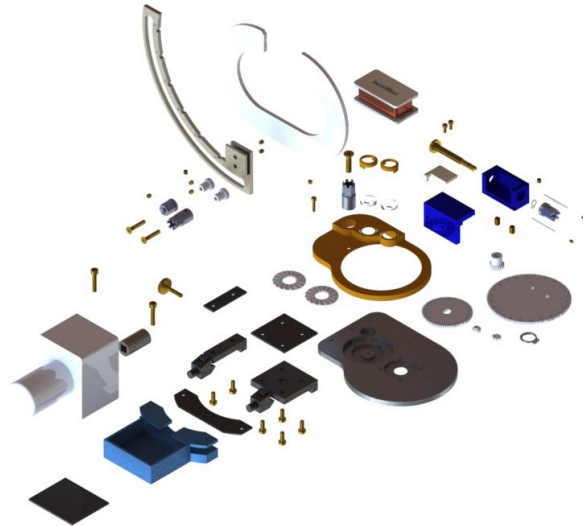
Figura 3.2.34: Mango articulado.

## 3.3. Manual de instrucciones

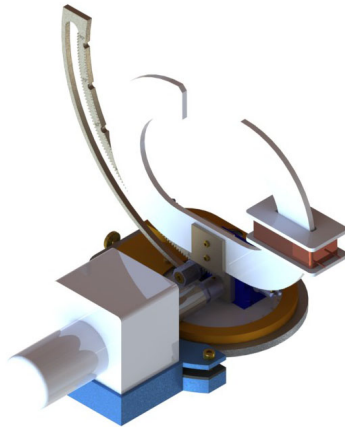
Se ha diseñado un manual de instrucciones debido a la cantidad de piezas que deben unirse entre sí, haciendo uso de las Refs. [16, 17]. De este modo puede garantizarse un cuidado y un funcionamiento óptimos. Se recomienda seguir el manual de instrucciones para el montaje o desmontaje (almacenamiento de las piezas) del soporte-electroimán.

### 3.4. Conjunto

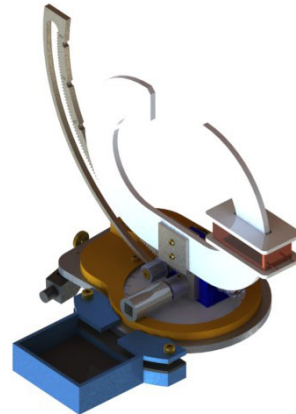
En el siguiente apartado se da a conocer el soporte-electroimán sin ensamblar (Fig. 3.4.1a) y ensamblado (Fig. 3.4.1b, 3.4.1c, 3.4.1d). De este modo pueden apreciarse todas las piezas por las que está formado y cómo quedan una vez unidas todas ellas. Así pues, se aprecia que el diseño desarrollado hace del soporte un conjunto que cumple con los requisitos propuestos ya anteriormente estipulados (Departamento de Física, Campus de Tudela de la UPNa).



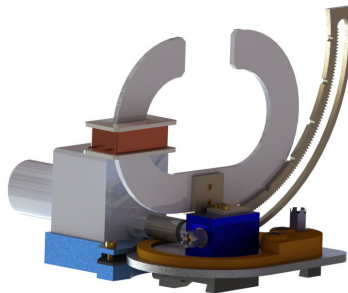
(a) Conjunto sin ensamblar.



(b) Vista isométrica conjunto ensamblado.



(c) Vista isométrica conjunto ensamblado sin motor reductor.



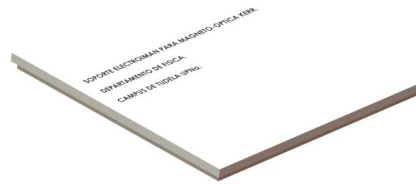
(d) Vista trasera conjunto ensamblado.

### 3.5. Almacenamiento de las piezas.

Se ha creído conveniente construir (Secs. 8.29 y 8.30) una caja de almacenamiento (Fig. 3.5.1e, 3.5.1f, 3.5.1g) de material EPS (poliestileno expandido) para las distintas piezas. La forma de los alojamientos interiores de los distintos componentes se hará por termoconformado, de esta forma se evita que las distintas piezas se dañen o se pierdan si el soporte-electroimán debe retirarse un cierto tiempo del lugar de trabajo ó se decida ubicarlo en otro lugar.



(e) Parte inferior del almacenamiento.



(f) Parte superior del almacenamiento.



(g) Caja de almacenamiento.

Figura 3.5.1: Caja de almacenamiento de los componentes.

## Capítulo 4

# Caracterización y optimización magnética

### 4.1. Sistema experimental

Incluso si hubiera sido factible la modelización del campo producido en el entrehierro por un núcleo como el ilustrado en la Fig. 1.2.1, sería imprescindible la caracterización experimental del mismo y la optimización de la respuesta magnética mediante tratamientos térmicos adecuados, como los sugeridos por la compañía *Carpenter* para sus productos, recogidos brevemente en la tabla 1.1.

#### 4.1.1. Sistema de inducción electromagnética

A continuación pasamos a describir un sistema experimental sencillo, basado en la inducción electromagnética, que se emplea habitualmente en la determinación de algunas propiedades magnéticas de un medio material. Se ilustra en la Fig. 4.1.1 el sistema, formado por dos solenoides

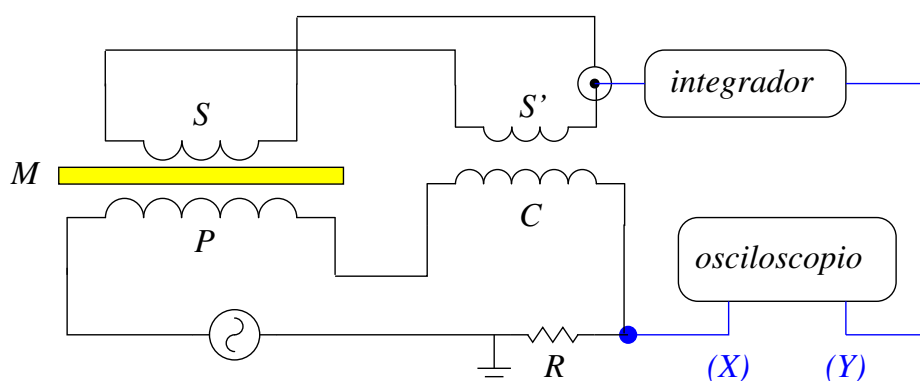


Figura 4.1.1: Esquema de un sistema experimental para la determinación del ciclo de histéresis magnética de un medio material, basado en la inducción electromagnética.

primario (P) y compensador (C), que forman el circuito primario, y dos bobinas secundarias principal (S) y compensadora (S'), que forman el circuito secundario. Constituyen circuitos eléctricos separados. En el primero, los solenoides están conectados en serie, mientras que en el segundo los secundarios lo están en serie-oposición. El primario (P) y el secundario (S) están acoplados

inductivamente. En el interior del secundario (S) se encuentra la muestra del medio magnético en estudio. El solenoide (C) y el secundario (S') están también acoplados inductivamente. En ausencia de muestra, se varía el acoplamiento inductivo entre (C) y (S') de manera que la fuerza electromotriz (*fem*) inducida en (S') sea igual en amplitud a la fem inducida en el secundario principal (S). De esta manera, al introducir la muestra (M) en el secundario (S), la fem inducida en el sistema es debida únicamente a la variación de la imanación del medio material en estudio. Esta tensión eléctrica es integrada en el tiempo mediante un integrador electrónico y llevada al canal (Y) del osciloscopio mediante un cable apantallado, de tipo BNC. La tensión a través de la resistencia (R), en serie en el circuito primario con los solenoides, es proporcional a la intensidad de corriente que fluye por el circuito, de la que es directamente proporcional el campo magnético producido por el solenoide (P), que excita o imana la muestra (M) en estudio. La calibración de esta última parte permite convertir valores de tensión eléctrica registrados en el osciloscopio en valores del campo magnético producido por el solenoide (P). La alimentación regulable del primario se ha realizado mediante un generador de funciones y un amplificador de potencia. Para determinar los valores de la imanación que adquiere el medio material en estudio es necesario conocer cómo opera el integrador y las ecuaciones fundamentales de la inducción electromagnética, que relacionan aquella con la fem inducida en el sistema compensado de secundarios.

La ley de inducción electromagnética de Faraday-Lenz establece que la fem  $\varepsilon$  inducida en un secundario es igual a la variación del flujo de campo magnético  $\Phi$  que enlaza dicho secundario

$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (4.1.1)$$

donde el signo menos, debido a Lenz, expresa que la fem se opone a dicha variación. La inducción magnética

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (4.1.2)$$

tiene dos contribuciones: el campo magnético  $\mathbf{H}$ , creado por las corrientes reales o bien por un medio magnético, y la imanación  $\mathbf{M}$  que posee el medio magnético. La imanación únicamente existe en el interior del medio material, mientras que el campo magnético  $\mathbf{H}$  existe tanto dentro como fuera del medio material [9]. En el sistema compensado de la Fig. 4.1.1, la fem total es

$$\begin{aligned} \varepsilon &= -\frac{\partial}{\partial t} \iint \mu_0 \mathbf{M} \cdot d\mathbf{S} \\ &= -\mu_0 \frac{\partial M}{\partial t} N_S A \end{aligned} \quad (4.1.3)$$

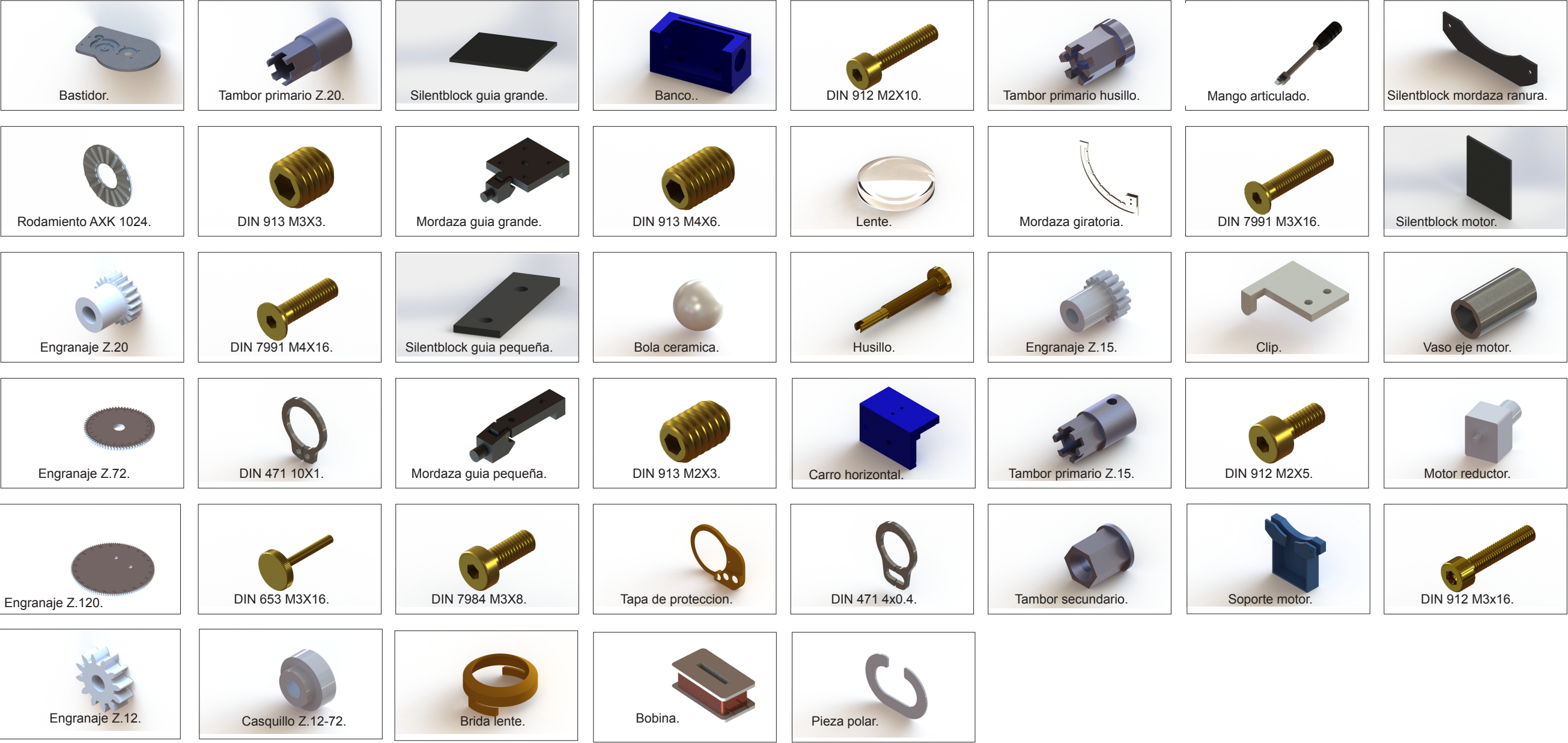
donde  $N_S$  es el número de espiras del secundario principal (S) y  $A$  es la sección recta (corte transversal) del material en estudio.  $M$  es la imanación promedio que adquiere el medio material, en la dirección del campo magnético excitador (dirección longitudinal del medio material, axial del solenoide). La señal eléctrica que se lleva al osciloscopio es la integral de esta fem inducida

$$\begin{aligned} V_Y &= G \int \varepsilon dt \\ &= -G\mu_0 M N_S A \end{aligned} \quad (4.1.4)$$

de la que puede determinarse la imanación  $M$  adquirida por el medio, conocidas su sección transversal  $A$  y el número de espiras  $N_S$  del carrete detector.<sup>1</sup> El prefactor  $G$  es la ganancia del integrador

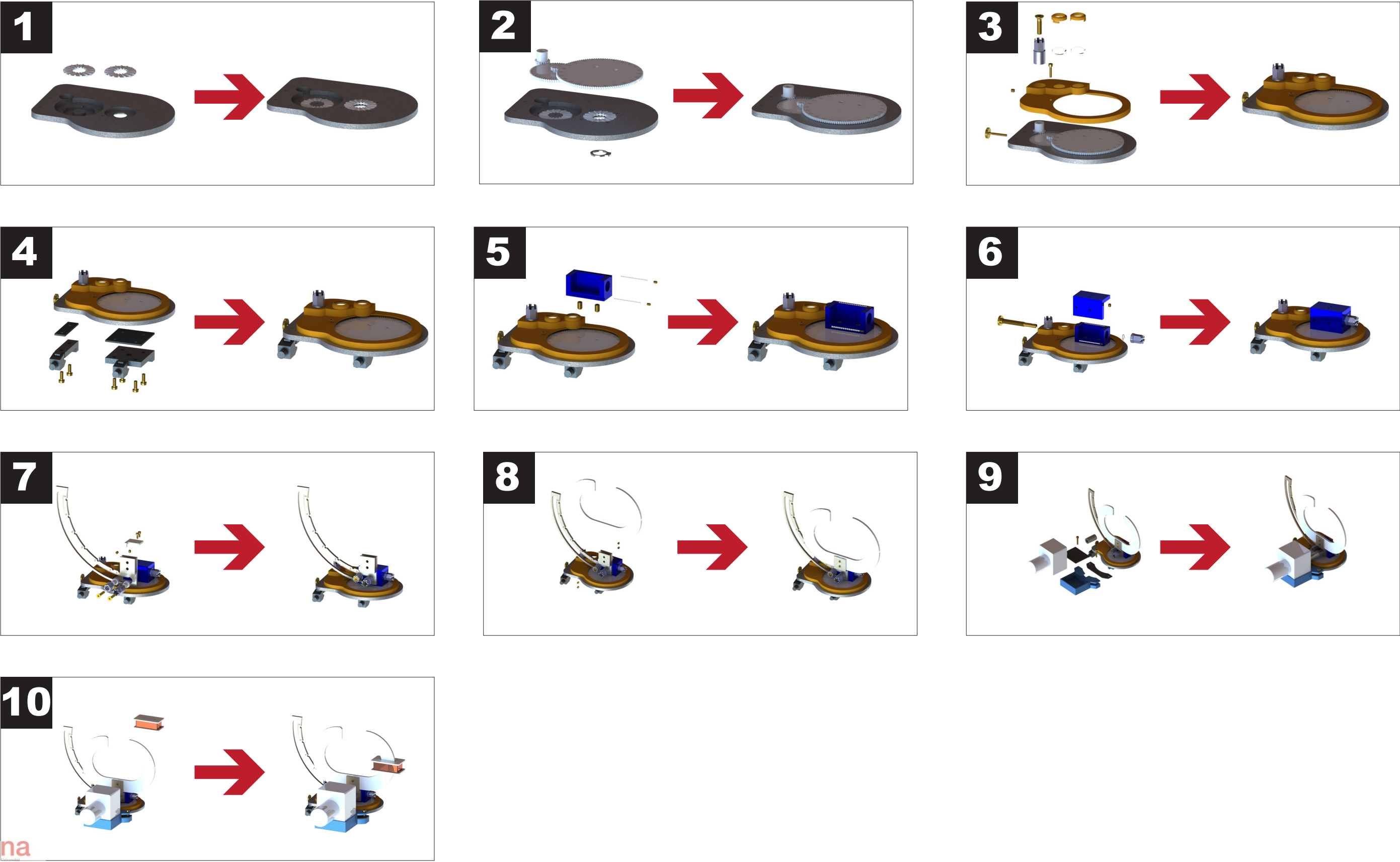
<sup>1</sup>La expresión (4.1.3) no tiene en cuenta el campo  $\mathbf{H}$  interno de la muestra o campo desimanador. Para especímenes





1. Montar los rodamientos (AXK 1024) en los respectivos orificios del bastidor.
2. Colocar el engranaje Z.20, el engranaje Z.72 y el engranaje Z.12.
  - Introducir el eje del engranaje Z.120 al interior del rodamiento (AXK 1024) derecho y sujetarlo con la arandela de seguridad (DIN 471 10x1).
3. Unir el tambor primario Z.20 con los tornillos (DIN 913 M3x3 y DIN 7991 M4x16) al engranaje Z.20.
  - Montar las lentes junto con las bridas lente en la tapa de protección y a continuación atornillarla ( DIN 912 M2x10) al bastidor.
  - El tornillo freno (DIN 653 M2x16) se alojará en el costado izquierdo del bastidor.
4. Poner el silentblock guia grande con la mordaza guia grande y el silentblock guia pequena con la mordaza guia pequena, sujetando ambos conjuntos con tornillos (DIN 1207 M3X8) por la cara inferior del bastidor.
  - Roscar en la parte lateral derecha del bastidor el tornillo freno (DIN 655 M2x14).
5. Con los tornillos (DIN913 M4x6) sujetar el banco al engranaje Z. 120.
  - Introducir las bolas cerámicas en la ranuras del banco, tapando estas con tornillos (DIN 913 M2x3).
6. Fijar el husillo al banco a la vez que se rosca en el carro horizontal.
  - La arandela de seguridad (DIN 471 4x0.4) situarla en la ranura del husillo.
  - El tambor primario husillo amarrarlo con un tornillo (DIN M3x3) al husillo.
- 7.Colocar la mordaza guiratoria en la cara lateral del carro horizontal por medio del conjunto engranaje Z.15, tambor primario Z.15 y sus respectivos tornillos (DIN 913 M3X3 y DIN 7991 M3X16) que ira alojado en la ranura dentada.
  - Hacer lo mismo con el engranaje Z. 15, tambor secundario y los tornillos (DIN 913 M3x3 y DIN 7991 M3x16).
  - El clip se colocara en la cara superior del carro horizontal mediante tornillos (DIN 912 M2x5).
8. Colocar la mordaza giratoria en la cara lateral del carro horizontal por medio del conjunto engranaje Z.15, tambor primario Z.15 y sus respectivos tornillos (DIN 913 M3x3 y DIN 7991 M3x16) que ira alojado en la ranura dentada.
  - Hacer lo mismo con el engranaje Z. 15, tambor secundario y los tornillos (DIN 913 M3x3 y DIN 7991 M3x16).
  - El clip se colocara en la cara superior del carro horizontal mediante tornillos (DIN 912 M2x5).
9. Montar la pieza polar en la mordaza giratoria y atornillarla mediante tornillos (DIN 913 M3X3).
10. Montar el silentblock motor, silentblock mordaza ranura y el motor en el soporte motor.
  - Al eje del motro introducir el vaso.
  - Unir el soporte al bastidor mediante tornillos (DIN 912 M3X16).

(Aquellos componentes que se muevan o giren irán lubricados para reducir el rozamiento y la fricción).





electrónico, que se describe a continuación. La expresión (4.1.4) precedente es una aproximación, por cuanto que no tiene en cuenta que la geometría particular del carrito detector (S) produce un pequeño desfase, debido a la inductancia y a la capacidad parásita propias del carrito, de manera que  $V_Y(t)$  no está exactamente en oposición de fase con  $M(t)$ , como aparece en la ec. (4.1.4). Depende también del desfase que puede producir la etapa de amplificación electrónica del integrador. Esto afecta a la determinación del campo coercitivo de la muestra. Sin embargo, a frecuencias de excitación suficientemente bajas,  $\sim 10$  Hz, estos efectos son despreciables.

#### 4.1.2. Integrador electrónico

Se ha fabricado un integrador electrónico basado en uno comercial de la firma americana<sup>2</sup> *Walker Scientific* [18].

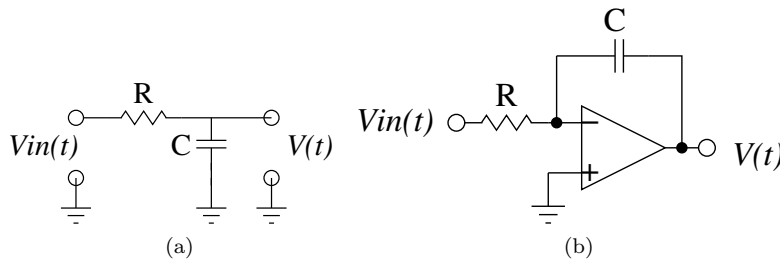


Figura 4.1.2: Esquema básico de un circuito integrador.

La (Fig. 4.1.2a) ilustra el esquema básico de un circuito integrador. La caída de tensión en la resistencia  $R$  es  $V_{in} - V$ , por lo que la intensidad de corriente es  $I = \frac{V_{in}-V}{R}$ . Como la capacidad es  $C = \frac{Q}{V}$ , siendo  $Q$  la carga que se va almacenando en el capacitor, cuyo ritmo de variación es la intensidad:  $I = \frac{dQ}{dt}$ , entonces  $I = C \frac{dV}{dt} = \frac{V_{in}-V}{R}$ . Haciendo  $RC$  suficientemente grande, se tiene  $V \ll V_{in}$ , de manera que  $C \frac{dV}{dt} \simeq \frac{V_{in}}{R}$ , de donde

$$V(t) \simeq \frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(t) dt$$

Mediante el uso de amplificadores operacionales se consigue tener una fuente de intensidad  $I(t)$  en lugar de una de tensión, de manera que el integrador es exacto, sin necesidad de la aproximación  $V \ll V_{in}$  [19]. El circuito básico con un operacional se ilustra en la Fig. 4.1.2b. La intensidad  $I(t) = \frac{V_{in}(t)}{R}$  fluye a través del capacitor, dado que la entrada inversora (-) es tierra virtual. Entonces  $I = -C \frac{dV}{dt}$ , de donde

$$V(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(t) dt$$

El inconveniente del circuito básico de la Fig. 4.1.2b es que no tiene realimentación en continua, por lo que la tensión de salida deriva sin control hacia la tensión de saturación del operacional, debido a los *offsets* del operacional y a su corriente *bias*. Hay varias técnicas para minimizar o corregir este efecto, la más sencilla de las cuales es poner una resistencia de gran valor  $R_2$  en paralelo con el condensador  $C$  para conseguir realimentación en continua. Sin embargo es a costa de no integrar bien, ni en amplitud ni en fase, tensiones de baja frecuencia, por debajo de  $(2\pi R_2 C)^{-1}$ .

suficientemente largos (o bien con forma toroidal), se puede despreciar.

<sup>2</sup>La compañía ya no ofrece este tipo de productos en su página web.

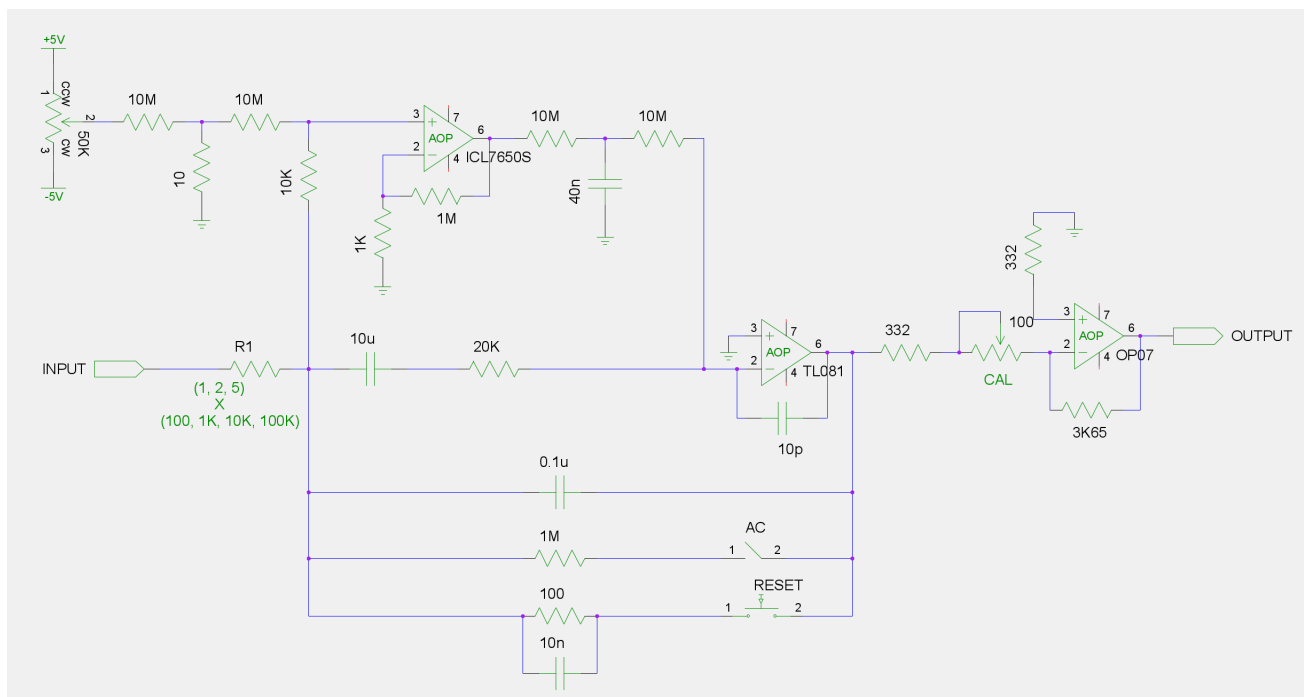


Figura 4.1.3: Esquema del circuito integrador electrónico.

El integrador elaborado ofrece una solución que permite integrar tensiones de cualquier frecuencia, limitado únicamente por el ancho de banda de los amplificadores operacionales empleados. No solamente señales de baja frecuencia, sino señales en las que hay una parte con una rápida variación de la tensión eléctrica (alta frecuencia), en la vecindad del campo coercitivo, seguidas por una parte de variación casi nula (muy baja frecuencia), en la región de saturación magnética, cual ocurre en la imanación cíclica de materiales magnéticos blandos. El esquema del circuito se ilustra en la Fig. 4.1.3. El amplificador operacional de integración es el TL081. A su entrada hay un filtro paso alto, de frecuencia de corte  $\sim 0.8$  Hz. Tensiones de entrada por debajo de esa frecuencia son tratadas en la etapa del operacional ICL7650S, que es un *chopper* estabilizado, de tensión *offset* máxima de  $5 \mu\text{V}$ . Para compensar esta tensión *offset* y su posible deriva térmica, se emplea la red de resistencias conectada a la fuente de alimentación de  $\pm 5$  V, que permite llevar una tensión, regulable mediante la resistencia variable (*trimpot*) de  $50$  k $\Omega$ , en el rango de  $\pm 5 \mu\text{V}$ . El *chopper* estabilizado se emplea porque el ruido en señales de frecuencias por debajo de  $1$  Hz es considerablemente menor que en otro tipo de operacionales (bipolar o FET) [19]. A la salida de esta etapa hay un filtro paso bajo (como el integrador de la Fig. 4.1.3). Los valores de las resistencias y condensadores de esta etapa permiten que, en todo el rango de frecuencias, desde milihertzios a kilohertzios, la señal de salida del amplificador operacional TL081 sea la integral de la señal de entrada, sin variaciones en la fase correspondiente. La etapa de integración emplea la resistencia  $R_1$ , seleccionable entre los valores  $1, 2$  ó  $5 \times 10^n \Omega$ , con  $n=2, 3, 4$  y  $5$ , y el condensador de  $0.1 \mu\text{F}$  ( $C_1$ ). La ganancia de integración es  $G_i = 1/R_1 C_1$ . El pulsador AC, que conecta una resistencia grande (de  $1$  MOhm) en paralelo con el capacitor de integración  $C_1$ , forma un filtro paso alto de frecuencia de corte  $\sim 1.6$  Hz, proporcionando la realimentación en continua que evita la deriva del operacional de integración. Cuando esto no obstante ocurre, el pulsador RESET permite sacar del estado de saturación los operacionales. Hay una última etapa de amplificación, que emplea el operacional bipolar OP07, de ganancia  $\sim \times 10$ , regulable mediante el *trimpot* de  $100$  ohm, que permite un ajuste de calibración del instrumento.

El diseño del circuito impreso se realizó mediante el software libre PCB, en entorno Linux [20]. El circuito se simuló mediante el software gratuito *LTspiceIV*® [21].

## 4.2. Tratamientos térmicos de optimización

Las muestras se han sometido a tratamientos térmicos de 400°C (Fig. 4.2.1a, 4.2.1b ) y 700°C (Fig. 4.2.1c, 4.2.1d). En la tabla (4.1) se da una pequeña idea de los resultados alcanzados en el tratamiento de 700°C así como las propiedades de otros materiales, extraídas de la Ref. [12].

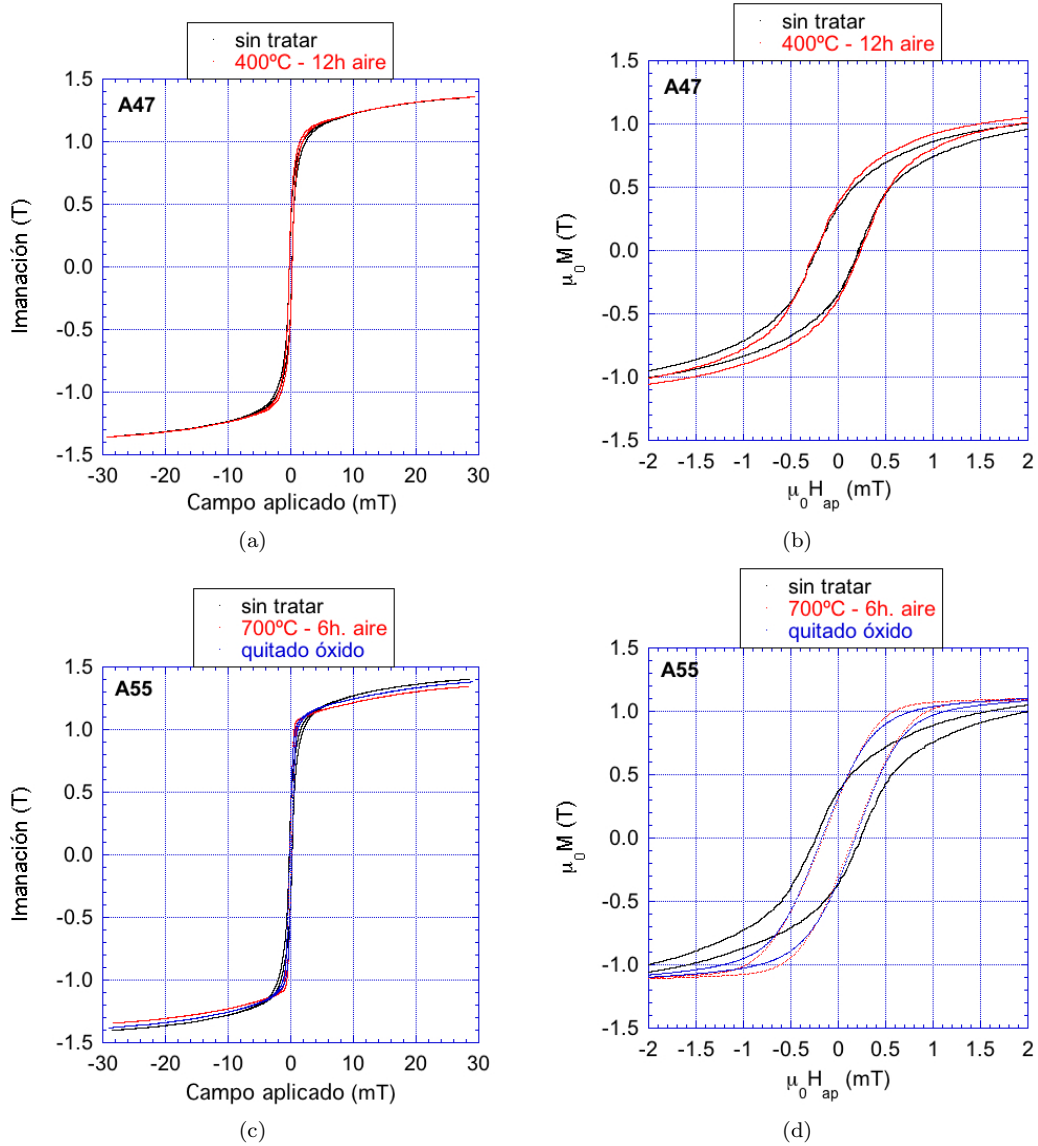


Figura 4.2.1: Gráficos de los tratamientos térmicos de 400°C y 700°C

Material	Permeabilidad ( $\mu_a$ )	Campo coercitivo ( $\mu_0 H$ )
Nuestro Fe-Si sin tratar	1500	250 $\mu T$
Nuestro Fe-Si a 700°C	2000	170 $\mu T$
Acero silicio	1500	10 $\mu T$
Cobalto	70	100 $\mu T$
Níquel	110	70 $\mu T$
Vitrios ferromagnéticos (muy blandos)	$\geq 10^5$	0.1 - 1 $\mu T$

Cuadro 4.1: Comparativa de las propiedades obtenidas sobre nuestra chapa de Fe-Si y de otros materiales, extraídas de la Ref. [12].

## Capítulo 5

# Automatismo

### 5.1. Orientación del campo magnético

El sistema experimental de MOKE requiere de la aplicación de un campo magnético cuya orientación con respecto al plano óptico y al plano de la muestra determina el tipo de efecto Kerr observable (Sec. 1.1.2). El diseño del presente proyecto ha tenido en cuenta la necesidad de no modificar la configuración del banco óptico existente en el laboratorio. Se ha diseñado de manera que se pueda regular la orientación del campo magnético en modo transversal (campo perpendicular al plano óptico), longitudinal (en el plano óptico) u oblicuo (orientación intermedia entre las anteriores). Para ello se ha desarrollado un sistema de engranajes, que consiste en una mordaza giratoria y engranajes Z.15 (Sec. 3.2.17), que consigue la rotación concéntrica sobre la muestra.

El giro (de ángulo  $\phi$ , Fig. 3.2.26) puede hacerse manual. Pero para una mayor comodidad, se ha automatizado este sistema de giro. El número de vueltas a la rueda conductora (Sec. 3.2.5, engranaje Z.15) para que la rueda conducida (Sec. 3.2.17) pase de  $\phi = 0^\circ$  a  $\phi = 90^\circ$  se indica en la tabla (5.1). Por ello se ha acoplado un motor-reductor, que permite un ajuste reproducible y de mejor precisión de la orientación de la pieza polar del electroimán, dado por un mayor número de vueltas del motor-reductor.

Motor-reductor	Engranaje Z.15	Mordaza giratoria
<i>automatizado</i>	<i>manual</i>	$\phi$
5 vueltas	1 vuelta	$15^\circ$
30 vueltas	6 vueltas	$90^\circ$

Cuadro 5.1: Angulo de giro  $\phi$  en los modos manual y automatizado.

### 5.2. Circuito eléctrico

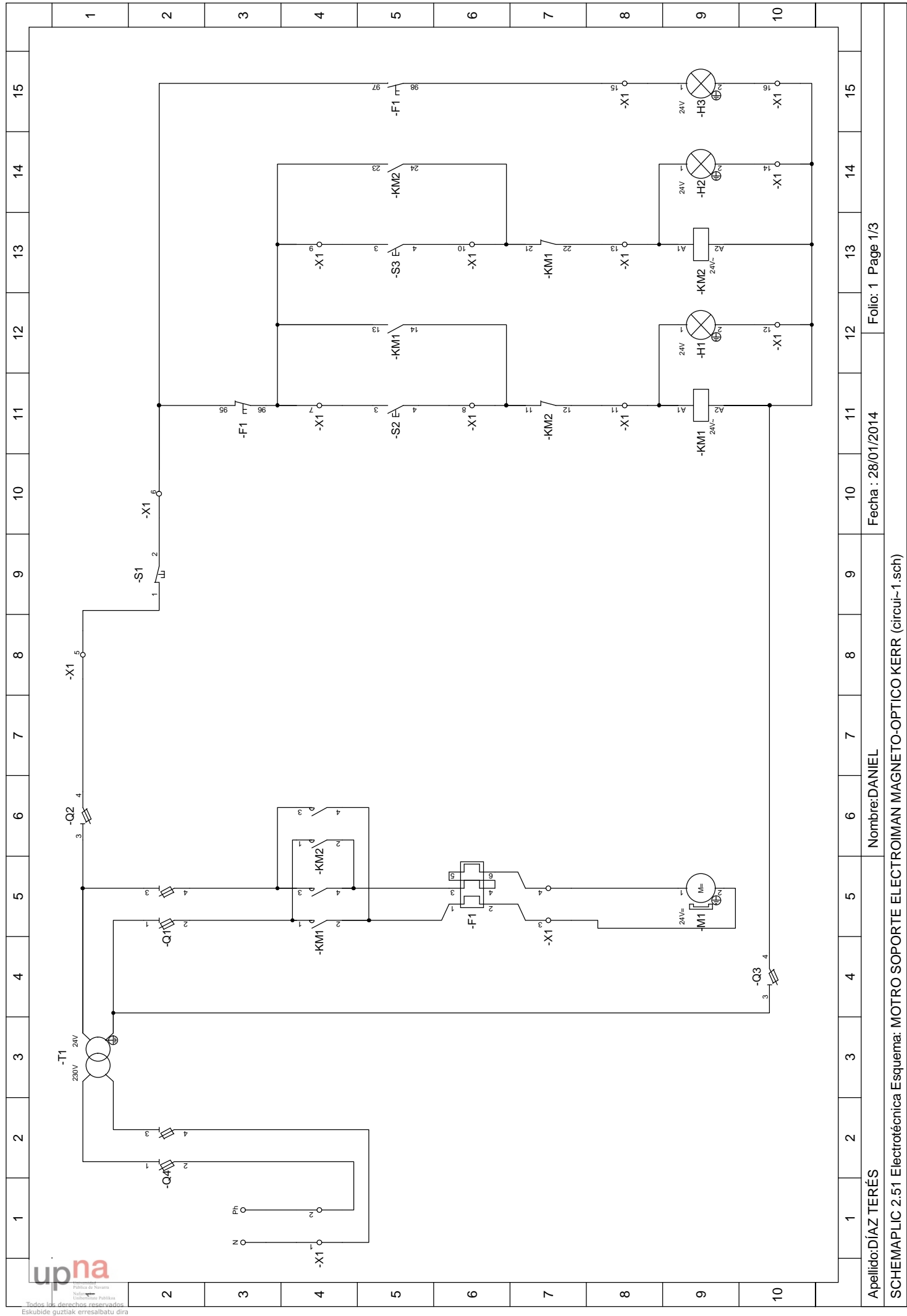
El esquema del circuito eléctrico de alimentación y control del motor-reductor se ilustra en las Págs. (48, 49, 50). A continuación se describe brevemente el funcionamiento de los componentes del mismo.

Al pulsar S2 (3-4, marcha derecha), llegará tensión a la bobina del contactor KM1 (A1-A2) encendiéndose el piloto luminoso H1 (1-2), el contactor KM1 (13-14) se rearma y el KM1 (21-22) se abre dejando el pulsador S2 (3-4) cerrado. La bobina se excita cerrando los contactos principales del contactor KM1 (1-2, 3-4), funcionando el motor M1 (sentido a derechas). El motor M1 dejará de funcionar al pulsar S1 (1-2, paro).

Si pulsamos S3 (3-4, marcha izquierda), llegará tensión a la bobina del contactor KM1 (A1-A2) iluminándose el piloto luminoso H2 (1-2), se rearma KM2 (A1-A2) y se abrirá KM2 (11-12) quedándose conectado S3(3-4). Los contactos principales del contactor KM2 (1-2, 3-4) se cerrarán al excitarse la bobina y se pondrá en marcha el motor M1 (sentido a izquierdas).

Para que todo esto ocurra los fusibles-seccionadores Q1, Q4 (1-2, 3-4) y Q2, Q3 (3-4) estarán antes cerrados. Si se produjera una sobreintensidad, el relé térmico F1 (95-9a6) se abrirá, dejando de iluminar el piloto H1 ó H2 (1-2) y el rele térmico F1 (97-98) se cerrará, brillando el piloto H3 (1-2) que indicará que se ha producido una avería.

El circuito eléctrico emplea una fuente de alimentación AC/DC (230 - 24 V) ya que el motor M1 trabaja a 24 V.



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



**Cuadro eléctrico.**

Nº Nodos equipotenciales.

## Bomes

## Conductores

## Cables

## Terminales

1x

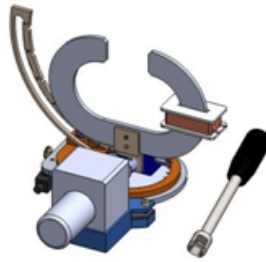
	12		X 1-1		1		FLUENT HOT V-UJ 332.5mm <sup>2</sup>	1	N
Q-44			X 1-1		1				
Q-42	1		X 1-2		2				Ph
			PE		PE				
F 1-2	21		X 1-3		1		M.R.1 HOT V-UJ 331.5mm <sup>2</sup>	1	M 1-2
F 1-6	16		X 1-4		2			2	M 1-1
			PE		PE				
Q-24	5		X 1-5		1		P.S.1 HOT V-UJ 260.75mm <sup>2</sup>	1	S 1-1
F 1-27 F 1-95	6		X 1-6		2				S 1-2
F 1-96 KM1-13 X 1-9 KM2-23	7		X 1-7		1		P.S.2 HOT V-UJ 260.75mm <sup>2</sup>	1	S 2-3
KM2-11 KM1-14	8		X 1-8		2				S 2-4
F 1-98 X 1-7 KM1-13 KM2-23	7		X 1-9		1		P.S.3 HOT V-UJ 260.75mm <sup>2</sup>	1	S 3-3
KM1-21 KM2-24	10		X 1-10		2				S 3-4
KM2-12 KM1-A1	9		X 1-11		1		L.H.1 HOT V-UJ 260.75mm <sup>2</sup>	1	H 1-1
Q 3-4 KM1-A2 KM2-A2 X 1-14 X 1-16	19		X 1-12		2				H 1-2
KM1-22 KM2-A1	11		X 1-13		1		L.H.2 HOT V-UJ 260.75mm <sup>2</sup>	1	H 2-1
Q 3-4 KM1-A2 X 1-12 KM2-A2 X 1-16	19		X 1-14		2				H 2-2
F 1-98	20		X 1-15		1		L.H.3 HOT V-UJ 260.75mm <sup>2</sup>	1	H 3-1
Q 3-4 KM1-A2 X 1-12 KM2-A2 X 1-14	19		X 1-16		2				H 3-2

## Capítulo 6

# Ciclo de vida del producto

He considerado importante añadir al proyecto el análisis del ciclo de vida del soporte-electroimán, con el fin de evaluar el impacto medioambiental que provoca. Para ello he tenido en cuenta lo que ocurre en la producción, utilización y eliminación del producto. Esto incluye también el impacto que supone el transporte del producto entre las distintas etapas, la selección del material, el método de fabricación y otros factores que dan como resultado efectos muy variados en el medio.

Para este estudio se quería obtener una idea global, por lo que se ha empleado la aplicación de impacto mediambiental del propio programa de dibujo 3D (*Solidworks* 2012) [11]. A continuación pueden verse los resultados del informe obtenido.



Nombre del modelo: SOPORTE ELECTROIMÁN PARA MAGNETO-ÓPTICA KERR.

Peso: 800.92 g

Construido para durar: 30 años.

Utilización durante: 30 años.



#### Región de fabricación

La elección de la región de fabricación determina los recursos energéticos y las tecnologías utilizadas en la creación de materiales y las etapas de fabricación del ciclo de vida del producto.

#### Región de utilización

Se utiliza para determinar los recursos energéticos consumidos durante la fase de utilización del producto, si procede, y el destino del producto al alcanzar el final de su vida útil. Junto con la región de fabricación, la región de utilización también se utiliza para calcular los impactos medioambientales asociados con el transporte del producto desde su lugar de fabricación al de utilización.

### Proceso de ensamblaje

Región: Europa  
Tipo de energía: Electricidad.  
Cantidad de energía: 2.0 MJ  
Construido para durar: 30

### Utilización

Región: Europa  
Tipo de energía: Electricidad.  
Cantidad de energía: 0.00 MJ  
Utilización durante: 30

### Transporte

Distancia en camión: 1900 km  
Distancia en tren: 0.00 km  
Distancia en barco: 0.00 km  
Distancia en avión: 0.00 km

### Fin de la vida útil

Reciclado: 0.827 %  
Incinerado: 0.793 %  
Vertedero: 1.7 %

## Impacto medioambiental

### Huella de carbono



15 kg CO<sub>2</sub>

### Energía total consumida



230 MJ

### Acidificación atmosférica



0.094 kg SO<sub>2</sub>

### Eutrofización del agua

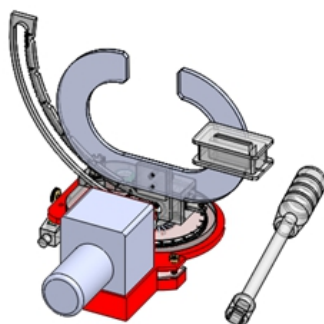


4.4E-3 kg PO<sub>4</sub>

## Impacto medioambiental de componentes

Los diez componentes que más contribuyen a las cuatro áreas de impacto medioambiental

Componente	Carbono	Agua	Aire	Energía
MOTOR REDUCTOR	3.9	8.4E-4	0.027	49
BASTIDOR	0.865	1.9E-4	5.9E-3	11
SOPORTE MOTOR	0.559	1.2E-4	3.8E-3	6.9



## Glosario

**Acidificación atmosférica:** Las emisiones ácidas, como el dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno, incrementan la acidez del agua de lluvia que, a su vez, acidifica suelos y lagos. Estos ácidos contaminan la tierra y el agua, y son tóxicos para la flora y fauna acuática. La lluvia ácida también puede disolver lentamente materiales fabricados por el hombre, como el hormigón/concreto. Normalmente, este impacto medioambiental se mide en unidades de kg equivalentes de **dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) o en moles equivalentes de H<sup>+</sup>**.

**Huella de carbono:** El dióxido de carbono y otros gases generados por la combustión de combustibles se acumulan en la atmósfera, que producen un incremento en la temperatura media de la Tierra. La huella de carbono es un indicador de un factor de impacto global conocido como potencial de calentamiento global (GWP). El calentamiento global es responsable, entre otros, de problemas como la desaparición de glaciares, la extinción de especies y la aparición del cambio climático.

**Energía total consumida:** Medida expresada en megajulios (MJ) de las fuentes de energía no renovables asociadas con el ciclo de vida de la pieza. No sólo incluye la electricidad y los combustibles utilizados durante el ciclo de vida del producto, sino también la energía necesaria para obtener y procesar dichos combustibles, y la energía incorporada en los materiales y consumida en la combustión. La energía total consumida se expresa como el valor calorífico neto de la demanda de energía obtenida a partir de recursos no renovables (petróleo, gas natural, etc.). Se tienen en cuenta las eficiencias obtenidas al convertir la energía (electricidad, calor, vapor, etc.).

**Eutrofización del agua:** La eutrofización se produce al agregar un exceso de nutrientes en un ecosistema acuático. El nitrógeno y fósforo de aguas residuales y fertilizantes agrícolas generan una abundancia de algas que agota el oxígeno del agua y aniquila la flora y fauna. Normalmente, este impacto medioambiental se mide en **fosfato equivalente a kg (PO<sub>4</sub>) o en nitrógeno equivalente (N)**.

**Evaluación del ciclo de vida (LCA):** Método para evaluar cuantitativamente el impacto medioambiental de un producto a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas, pasando por la producción, la distribución, la utilización, la eliminación y el reciclaje del mismo.

## Capítulo 7

# Cálculos

### 7.1. Centro de masas y volúmenes

## **BANCO.**

Densidad =  $0.0027 \text{ g} \cdot \text{mm}^3$

Masa = 11.6 g

Volumen =  $4.29 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $3.13 \times 10^3 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

X = 12.7

Y = 2.73

Z = -1.76

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

$I_x = (1, 0.0102, 0.00628)$

$P_x = 535$

$I_y = (-0.00556, 0.859, -0.512)$

$P_y = 1.49 \times 10^3$

$I_z = (-0.0106, 0.512, 0.859)$

$P_z = 1.64 \times 10^3$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 535$

$L_{xy} = 10.5$

$L_{xz} = 7.33$

$L_{yx} = 10.5$

$L_{yy} = 1.53 \times 10^3$

$L_{yz} = -64.2$

$L_{zx} = 7.33$

$L_{zy} = -64.2$

$L_{zz} = 1.6 \times 10^3$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 658$

$I_{xy} = 414$

$I_{xz} = -252$

$I_{yx} = 414$

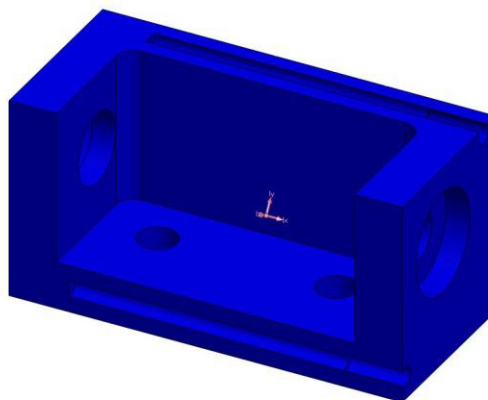
$I_{yy} = 3.44 \times 10^3$

$I_{yz} = -120$

$I_{zx} = -252$

$I_{zy} = -120$

$I_{zz} = 3.56 \times 10^3$



## **BASTIDOR.**

Densidad =  $0.0027 \text{ g} \cdot \text{mm}^3$

Masa = 69.5 g

Volumen =  $2.57 \times 10^4 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $1.72 \times 10^4 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

X = -12.2

Y = 1.62

Z = -3.51

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

$I_x = (0.966, 0.00886, 0.26)$

$P_x = 3.19 \times 10^4$

$I_y = (0.26, 0.00583, -0.966)$

$P_y = 6.11 \times 10^4$

$I_z = (-0.0101, 1, 0.00333)$

$P_z = 9.27 \times 10^4$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 3.39 \times 10^4$

$L_{xy} = 568$

$L_{xz} = 7.33 \times 10^3$

$L_{yx} = 568$

$L_{yy} = 9.27 \times 10^4$

$L_{yz} = -38$

$L_{zx} = 7.33 \times 10^3$

$L_{zy} = -38$

$L_{zz} = 5.92 \times 10^4$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 3.49 \times 10^4$

$I_{xy} = -808$

$I_{xz} = 1.03 \times 10^4$

$I_{yx} = -808$

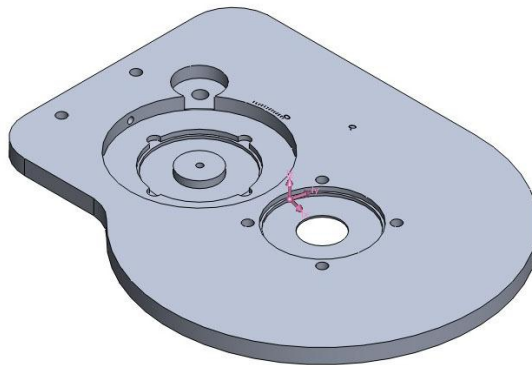
$I_{yy} = 1.04 \times 10^5$

$I_{yz} = -432$

$I_{zx} = 1.03 \times 10^4$

$I_{zy} = -432$

$I_{zz} = 6.98 \times 10^4$





### MORDAZA GUIA GRANDE.

Masa = 20.2 g

Volumen =  $7.45 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $4.7 \times 10^3 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

X = -11.1

Y = -6.69

Z = 1.29

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

$I_x = (0, -0.0606, 0.998)$

$P_x = 1.76 \times 10^3$

$I_y = (1, 0, 0)$

$P_y = 4.16 \times 10^3$

$I_z = (0, 0.998, 0.0606)$

$P_z = 5.63 \times 10^3$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 4.16 \times 10^3$

$L_{xy} = 9.85 \times 10^{-9}$

$L_{xz} = 1.01 \times 10^{-7}$

$L_{yx} = 9.85 \times 10^{-9}$

$L_{yy} = 5.62 \times 10^3$

$L_{yz} = -234$

$L_{zx} = 1.01 \times 10^{-7}$

$L_{zy} = -234$

$L_{zz} = 1.78 \times 10^3$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 5.1 \times 10^3$

$I_{xy} = 1.49 \times 10^3$

$I_{xz} = -287$

$I_{yx} = 1.49 \times 10^3$

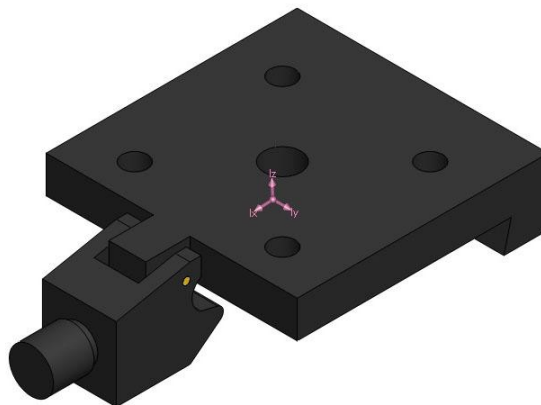
$I_{yy} = 8.12 \times 10^3$

$I_{yz} = -408$

$I_{zx} = -287$

$I_{zy} = -408$

$I_{zz} = 5.15 \times 10^3$



### MORDAZA GUIA PEQUEÑA.

Masa = 8.6 g

Volumen =  $3.17 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $2.49 \times 10^3 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

X = -71.1

Y = -7.84

Z = 7.93

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

$I_x = (0, -0.106, 0.994)$

$P_x = 148$

$I_y = (0, -0.994, -0.106)$

$P_y = 2.14 \times 10^3$

$I_z = (1, 0, 0)$

$P_z = 2.14 \times 10^3$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 2.14 \times 10^3$

$L_{xy} = -3.06 \times 10^{-13}$

$L_{xz} = 1.52 \times 10^{-12}$

$L_{yx} = -3.06 \times 10^{-13}$

$L_{yy} = 2.12 \times 10^3$

$L_{yz} = -209$

$L_{zx} = 1.52 \times 10^{-12}$

$L_{zy} = -209$

$L_{zz} = 171$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 3.21 \times 10^3$

$I_{xy} = 4.79 \times 10^3$

$I_{xz} = -4.84 \times 10^3$

$I_{yx} = 4.79 \times 10^3$

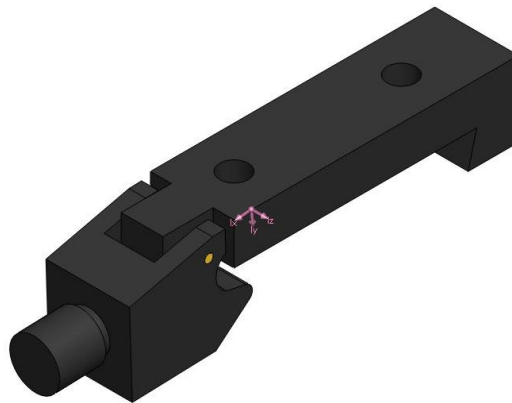
$I_{yy} = 4.61 \times 10^4$

$I_{yz} = -744$

$I_{zx} = -4.84 \times 10^3$

$I_{zy} = -744$

$I_{zz} = 4.41 \times 10^4$



## CARRO HORIZONTAL.

Densidad =  $0.0027 \text{ g*mm}^3$

Masa = 17.4 g

Volumen =  $6.44\text{e}+003 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $3.51\text{e}+003 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

X = 0.0267

Y = 13.3

Z = -7

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

Ix = (1, -0.00338, 0.0042)

Px =  $1.07\text{e}+003$

Iy = (0.00527, 0.775, -0.632)

Py =  $1.56\text{e}+003$

Iz = (-0.00112, 0.632, 0.775)

Pz =  $2\text{e}+003$

Momentos de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

Lxx =  $1.07\text{e}+003$

Lxy = -1.34

Lxz = 2.42

Lyx = -1.34

Lyy =  $1.73\text{e}+003$

Lyz = -213

Lzx = 2.42

Lzy = -213

Lzz =  $1.82\text{e}+003$

Momentos de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

Ixx =  $5.02\text{e}+003$

Ixy = 4.85

Ixz = -0.827

Iyx = 4.85

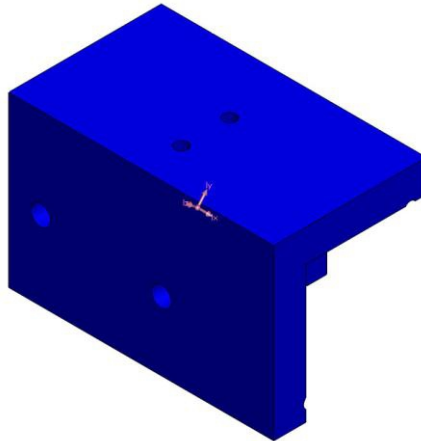
Iyy =  $2.59\text{e}+003$

Iyz =  $-1.84\text{e}+003$

Izx = -0.827

Izy =  $-1.84\text{e}+003$

Izz =  $4.92\text{e}+003$



## MORDAZA GIRATORIA.

Densidad =  $0.0027 \text{ g*mm}^3$

Masa = 16.4 g

Volumen =  $6.08\text{e}+003 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $7.22\text{e}+003 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

X = -36

Y = -59.2

Z = 2.25

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

Ix = (0.799, -0.601, 0.0129)

Px =  $3.71\text{e}+003$

Iy = (0.6, 0.799, 0.0391)

Py =  $3.49\text{e}+004$

Iz = (-0.0338, -0.0235, 0.999)

Pz =  $3.85\text{e}+004$

Momentos de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

Lxx =  $1.5\text{e}+004$

Lxy =  $-1.5\text{e}+004$

Lxz = 444

Lyx =  $-1.5\text{e}+004$

Lyy =  $2.36\text{e}+004$

Lyz = -158

Lzx = 444

Lzy = -158

Lzz =  $3.85\text{e}+004$

Momentos de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

Ixx =  $7.26\text{e}+004$

Ixy =  $1.99\text{e}+004$

Ixz = -885

Iyx =  $1.99\text{e}+004$

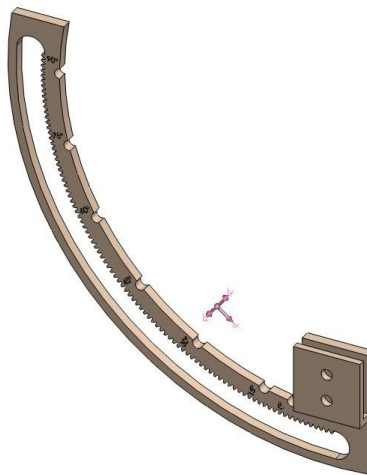
Iyy =  $4.5\text{e}+004$

Iyz =  $-2.35\text{e}+003$

Izx = -885

Izy =  $-2.35\text{e}+003$

Izz =  $1.17\text{e}+005$



## ENGRANAJE Z.120.

Densidad =  $0.00141 \text{ g} \cdot \text{mm}^3$

Masa = 8.34 g

Volumen =  $5.92 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $6.66 \times 10^3 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

Y = 0.0589

X = 0.000843

Z = 1.16

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

$I_x = (1, 0.0154, -4.76 \times 10^{-6})$

$P_x = 1.79 \times 10^3$

$I_y = (-0.0154, 1, -3.59 \times 10^{-5})$

$P_y = 1.79 \times 10^3$

$I_z = (4.2 \times 10^{-6}, 3.6 \times 10^{-5}, 1)$

$P_z = 3.57 \times 10^3$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 1.79 \times 10^3$

$L_{xy} = 0.04$

$L_{xz} = -0.00747$

$L_{yx} = 0.04$

$L_{yy} = 1.79 \times 10^3$

$L_{yz} = -0.0639$

$L_{zx} = -0.00747$

$L_{zy} = -0.0639$

$L_{zz} = 3.57 \times 10^3$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 1.8 \times 10^3$

$I_{xy} = 0.0404$

$I_{xz} = 0.000702$

$I_{yx} = 0.0404$

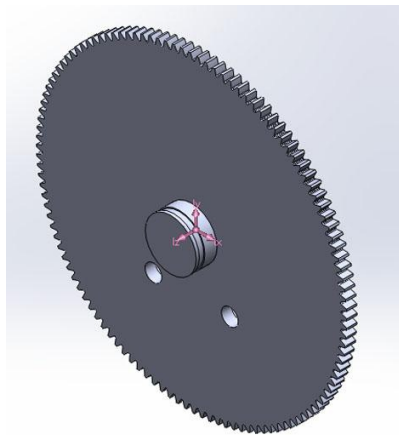
$I_{yy} = 1.8 \times 10^3$

$I_{yz} = 0.507$

$I_{zx} = 0.000702$

$I_{zy} = 0.507$

$I_{zz} = 3.57 \times 10^3$



## SOPORTE MOTOR.

Densidad =  $0.0027 \text{ g*mm}^3$

Masa = 44.8 g

Volumen =  $1.66\text{e}+004 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $1.28\text{e}+004 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

X = 0

Y = -52.6

Z = 5.52

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

Ix = (1, 0, 0)

Px =  $1.55\text{e}+004$

Iy = (0, 1, 0.0192)

Py =  $1.72\text{e}+004$

Iz = (0, -0.0192, 1)

Pz =  $3.06\text{e}+004$

Momentos de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

Lxx =  $1.55\text{e}+004$

Lxy =  $-1.37\text{e}-011$

Lxz =  $1.03\text{e}-012$

Lyx =  $-1.37\text{e}-011$

Lyy =  $1.72\text{e}+004$

Lyz = 257

Lzx =  $1.03\text{e}-012$

Lzy = 257

Lzz =  $3.06\text{e}+004$

Momentos de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

Ixx =  $1.41\text{e}+005$

Ixy = 0

Ixz = 0

Iyx = 0

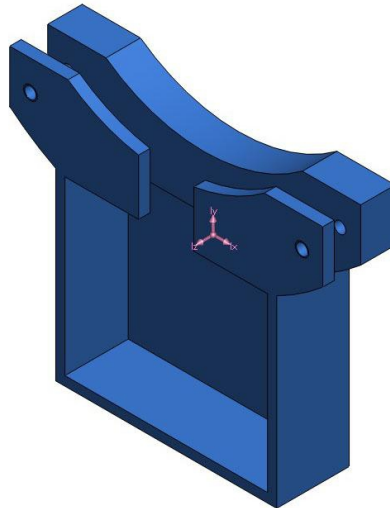
Iyy =  $1.86\text{e}+004$

Iyz =  $-1.28\text{e}+004$

Izx = 0

Izy =  $-1.28\text{e}+004$

Izz =  $1.55\text{e}+005$



## PIEZAS POLARES.

Densidad =  $0.00725 \text{ g*mm}^3$

Masa = 115 g

Volumen =  $1.58\text{e}+004 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $1.22\text{e}+004 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

X = 0

Y = -4.68

Z = 1.5

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

Ix = (1, 0, 0)

Px =  $8.37\text{e}+004$

Iy = (0, 1, 0)

Py =  $1.92\text{e}+005$

Iz = (0, 0, 1)

Pz =  $2.75\text{e}+005$

Momentos de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

Lxx =  $8.37\text{e}+004$

Lxy =  $-1.93\text{e}-012$

Lxz =  $-3.44\text{e}-014$

Lyx =  $-1.93\text{e}-012$

Lyy =  $1.92\text{e}+005$

Lyx =  $1.19\text{e}-013$

Lzx =  $-3.44\text{e}-014$

Lzy =  $1.19\text{e}-013$

Lzz =  $2.75\text{e}+005$

Momentos de inercia: ( $\text{g*mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

Ixx =  $8.65\text{e}+004$

Ixy = 0

Ixz = 0

Iyx = 0

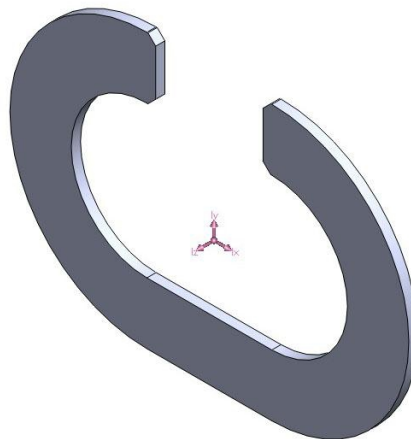
Iyy =  $1.92\text{e}+005$

Iyz = -805

Izx = 0

Izy = -805

Izz =  $2.78\text{e}+005$



## SOPORTE ELECTROIMÁN PAR MAGNETO-OPTICA KERR.

### *SIN GRUPO MOTOR.*

Masa = 409 g

Volumen =  $1.22 \times 10^5 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $1.16 \times 10^5 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

X = -9.76

Y = 30.5

Z = 8.32

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

$I_x = (0.731, 0.683, -0.0141)$

$P_x = 5.91 \times 10^5$

$I_y = (-0.65, 0.689, -0.32)$

$P_y = 8.55 \times 10^5$

$I_z = (-0.208, 0.243, 0.947)$

$P_z = 1.09 \times 10^6$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 7.24 \times 10^5$

$L_{xy} = 1.44 \times 10^5$

$L_{xz} = 4.31 \times 10^4$

$L_{yx} = 1.44 \times 10^5$

$L_{yy} = 7.46 \times 10^5$

$L_{yz} = -5.59 \times 10^4$

$L_{zx} = 4.31 \times 10^4$

$L_{zy} = -5.59 \times 10^4$

$L_{zz} = 1.06 \times 10^6$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 1.13 \times 10^6$

$I_{xy} = 2.22 \times 10^4$

$I_{xz} = 9.92 \times 10^3$

$I_{yx} = 2.22 \times 10^4$

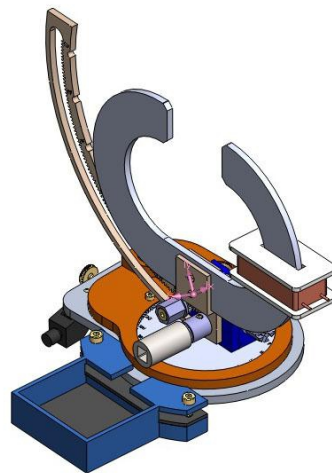
$I_{yy} = 8.13 \times 10^5$

$I_{yz} = 4.77 \times 10^4$

$I_{zx} = 9.92 \times 10^3$

$I_{zy} = 4.77 \times 10^4$

$I_{zz} = 1.48 \times 10^6$





### CON GRUPO MOTOR.

Masa = 723 g

Volumen =  $2.38 \times 10^5 \text{ mm}^3$

Área de superficie =  $1.32 \times 10^5 \text{ mm}^2$

Centro de masa: (mm)

X = -11.7

Y = 26

Z = 37.8

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el centro de masa.

$I_x = (-0.0999, -0.308, 0.946)$

$P_x = 1.13 \times 10^6$

$I_y = (0.743, 0.61, 0.277)$

$P_y = 1.62 \times 10^6$

$I_z = (-0.662, 0.73, 0.168)$

$P_z = 1.91 \times 10^6$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 1.74 \times 10^6$

$L_{xy} = 1.52 \times 10^5$

$L_{xz} = -1.49 \times 10^4$

$L_{yx} = 1.52 \times 10^5$

$L_{yy} = 1.73 \times 10^6$

$L_{yz} = -1.78 \times 10^5$

$L_{zx} = -1.49 \times 10^4$

$L_{zy} = -1.78 \times 10^5$

$L_{zz} = 1.19 \times 10^6$

Momentos de inercia: ( $\text{g} \cdot \text{mm}^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 3.26 \times 10^6$

$I_{xy} = -6.77 \times 10^4$

$I_{xz} = -3.33 \times 10^5$

$I_{yx} = -6.77 \times 10^4$

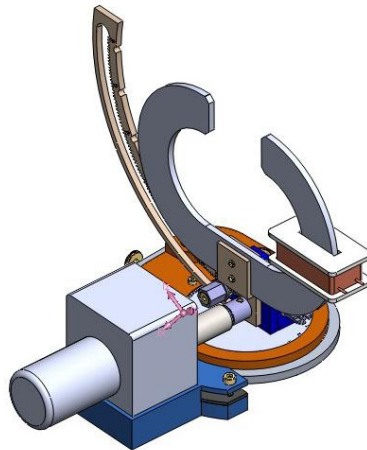
$I_{yy} = 2.86 \times 10^6$

$I_{yz} = 5.33 \times 10^5$

$I_{zx} = -3.33 \times 10^5$

$I_{zy} = 5.33 \times 10^5$

$I_{zz} = 1.78 \times 10^6$



## 7.2. Estudio de esfuerzos en el bastidor

En este apartado se predice el comportamiento del bastidor ya que soporta el resto de piezas del soporte-electroimán. Para ello se somete a los efectos de una carga mecánica, así como para detectar posibles problemas del diseño [11]. Puede apreciarse la conducta del bastidor por medio de los datos obtenidos de la tensión de Von Mises, los desplazamientos resultantes y la deformación.



## CONTENIDO

- Descripción
- Suposiciones
- Información de modelo
- Cargas y sujeciones
- Información de malla
- Resultados del estudio
- Conclusión

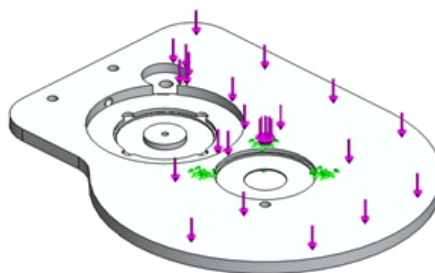
### Descripción

Comportamiento del bastidor al someterla a una fuerza de 5 N.

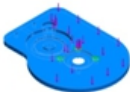
### Suposiciones

Se analiza el bastidor ya que soportará todos los esfuerzos que se producen en el resto de piezas ancladas sobre este.

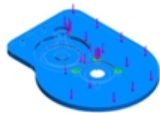
### Información de modelo



Nombre del modelo: BASTIDOR  
Configuración actual: Predeterminado

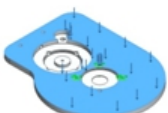
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Fecha de modificación
	Sólido	Masa:0.0693488 kg Volumen:2.56847e-005 m <sup>3</sup> Densidad:2700 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.679618 N	Jan 30 02:02:11 2014

## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<b>Nombre:</b> 3.0205 (EN-AW 1200) <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal <b>Criterio de error predeterminado:</b> Tensión máxima de von Mises <b>Límite elástico:</b> 2.5e+007 N/m <sup>2</sup> <b>Límite de tracción:</b> 7.5e+007 N/m <sup>2</sup>	Sólido 1

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 1 arista, 5 caras <b>Tipo:</b> Geometría fija

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 1 cara <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 5 N

## Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	2.95151 mm
Tolerancia	0.147576 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

## Información de malla – Detalles

Número total de nodos	20349
Número total de elementos	11391
Cociente máximo de aspecto	19.228
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	89.5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.307
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:07

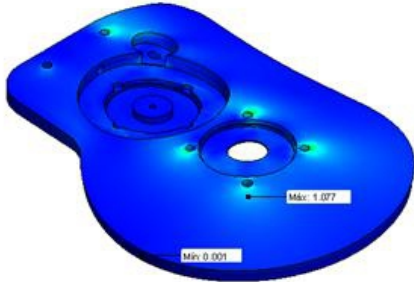
Nombre de modelo: BASTIDOR  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
Tipo de malla: Malla de sólido



## Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Min.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	0.00153461 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 17162	1.17589 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 349

Nombre de modelo: BASTIDOR  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
Tipo de resultado: Static: tensión nodal Stress  
Escala de deformación: 24933.3



von Mises (N/mm<sup>2</sup> (MPa))

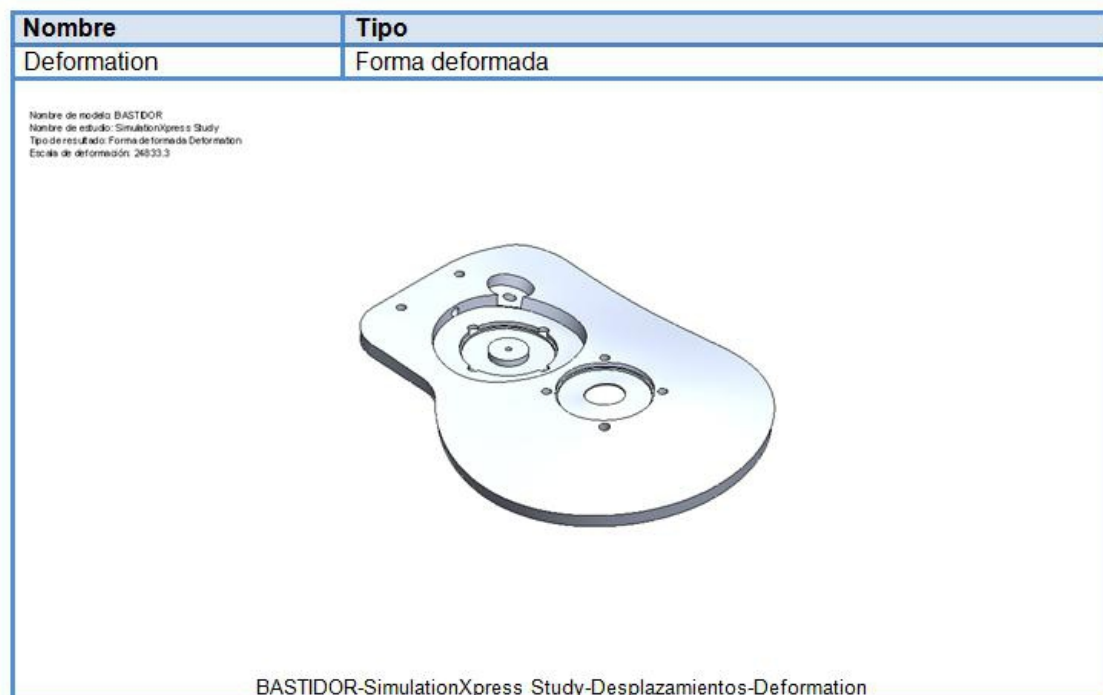
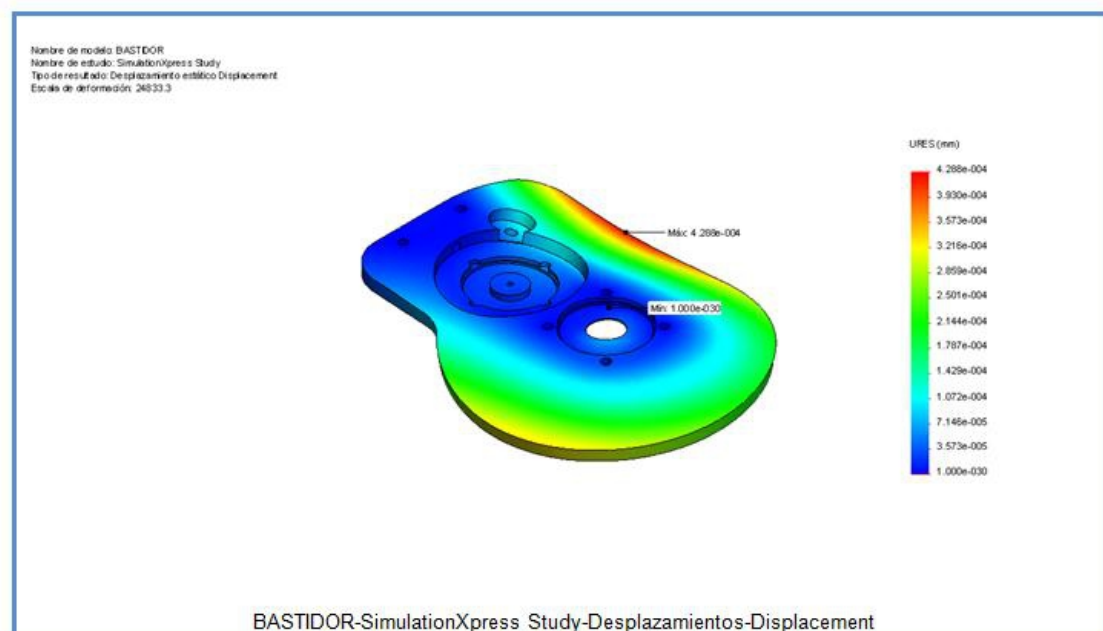
1.077  
0.908  
0.898  
0.808  
0.719  
0.629  
0.539  
0.450  
0.360  
0.270  
0.180  
0.091  
0.001

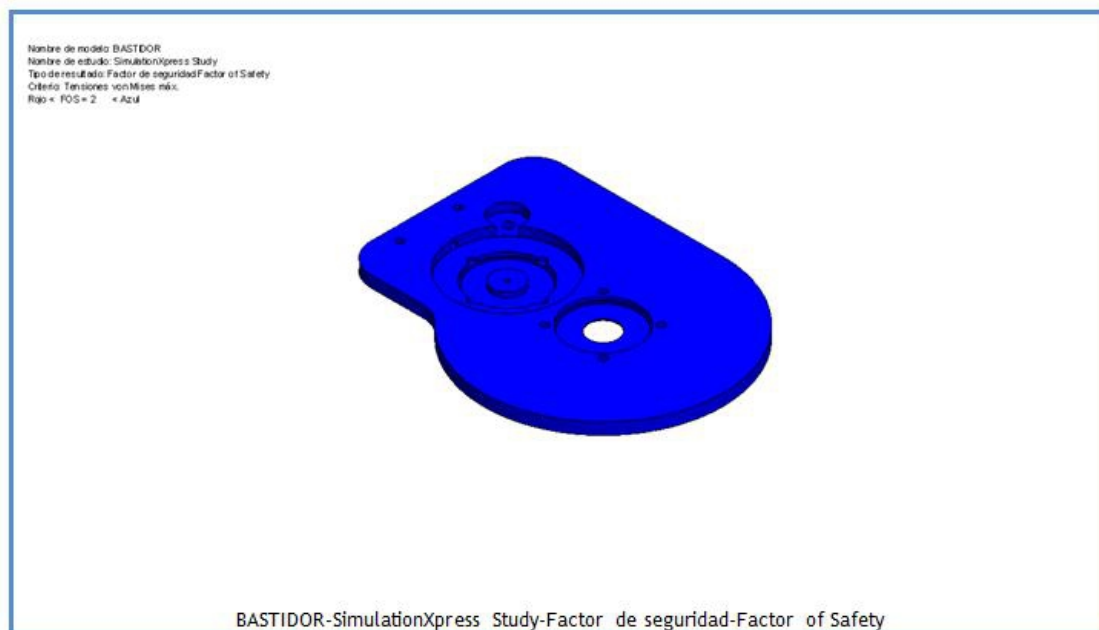
→ Límite elástico: 25.000

Máx: 1.077  
Min: 0.001

BASTIDOR-SimulationXpress Study-Tensiones-Stress

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 83	0.000428781 mm Nodo: 1530





Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	23.2062 Nodo: 15178	22847.8 Nodo: 15640

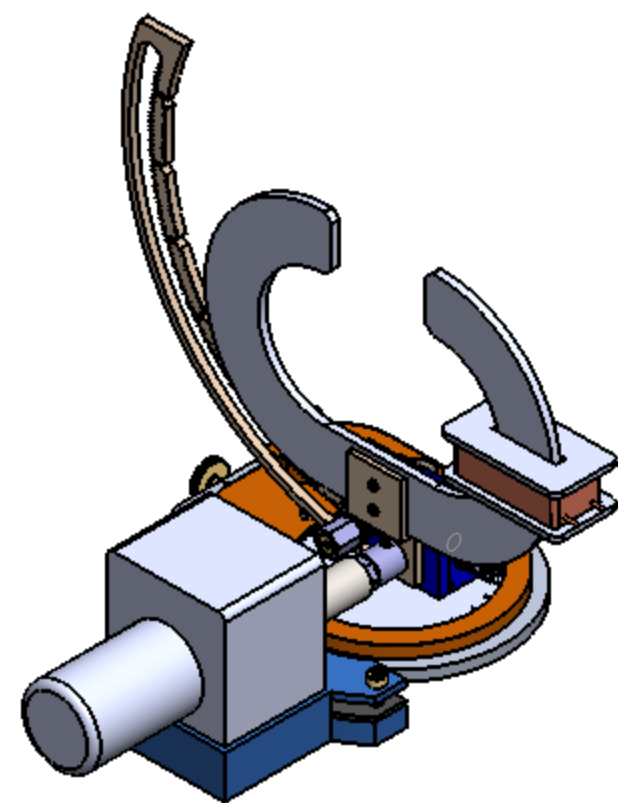
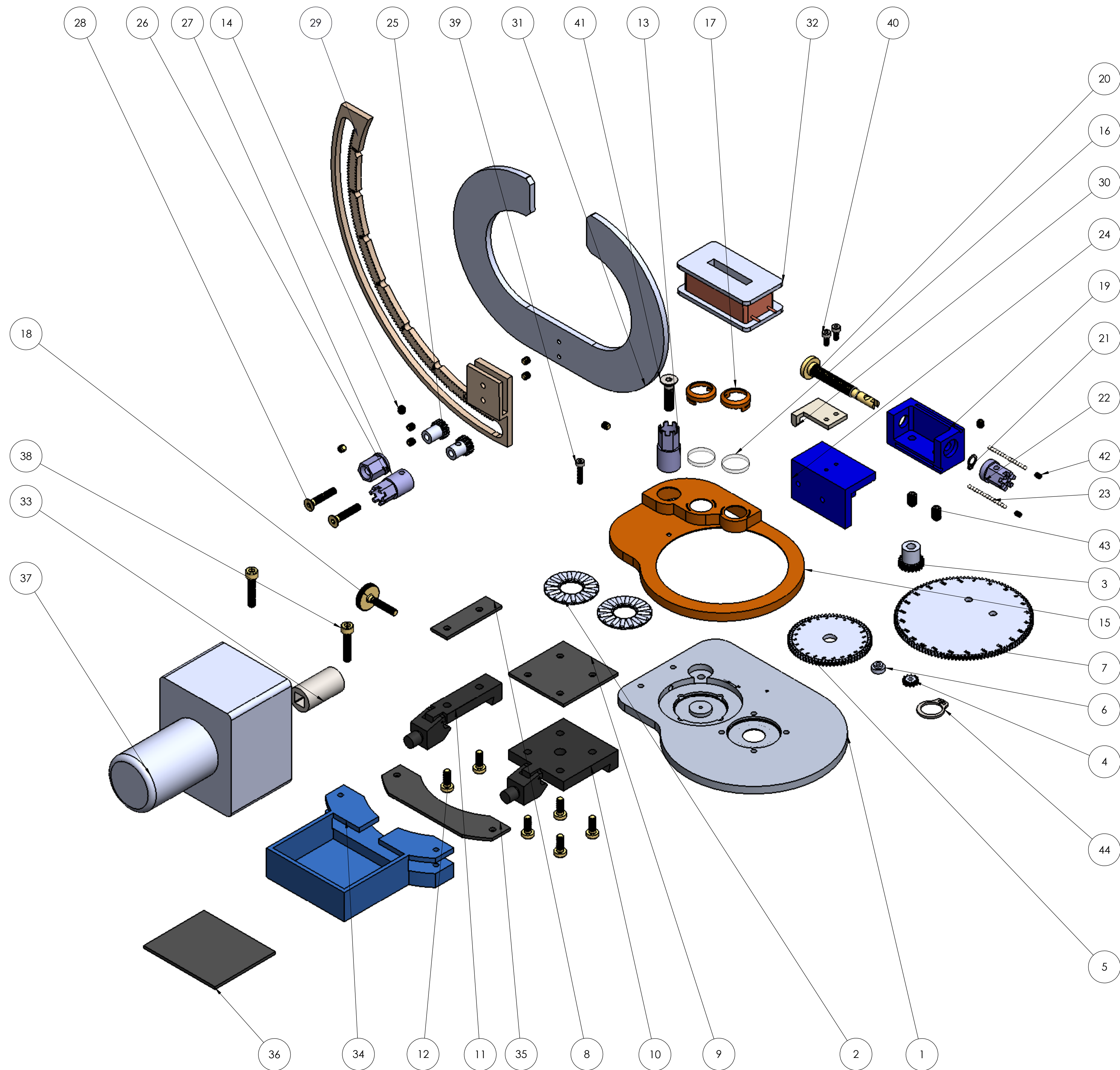
## Conclusión

La aleación de aluminio que se ha elegido tiene un módulo de Young  $7 \times 10^{10}$  Pa y un límite elástico  $2.5 \times 10^7$  Pa. En los resultados se puede observar que las tensiones que se generan en los orificios de sujeción del bastidor con las mordazas guías son pequeños respecto al límite elástico, y las deformaciones que se crean en uno de los laterales del bastidor también son pequeños.


## Capítulo 8

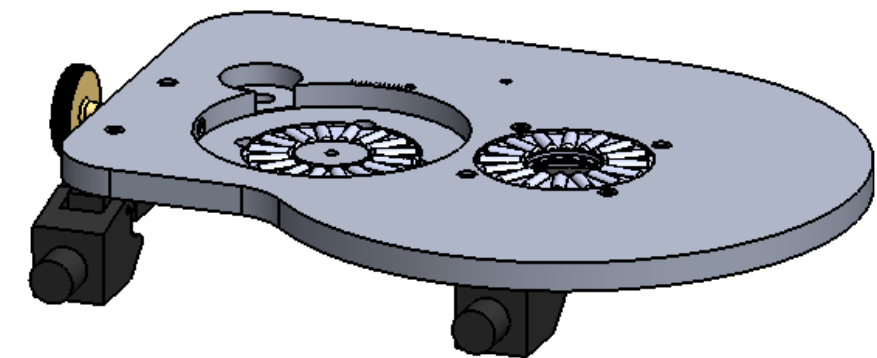
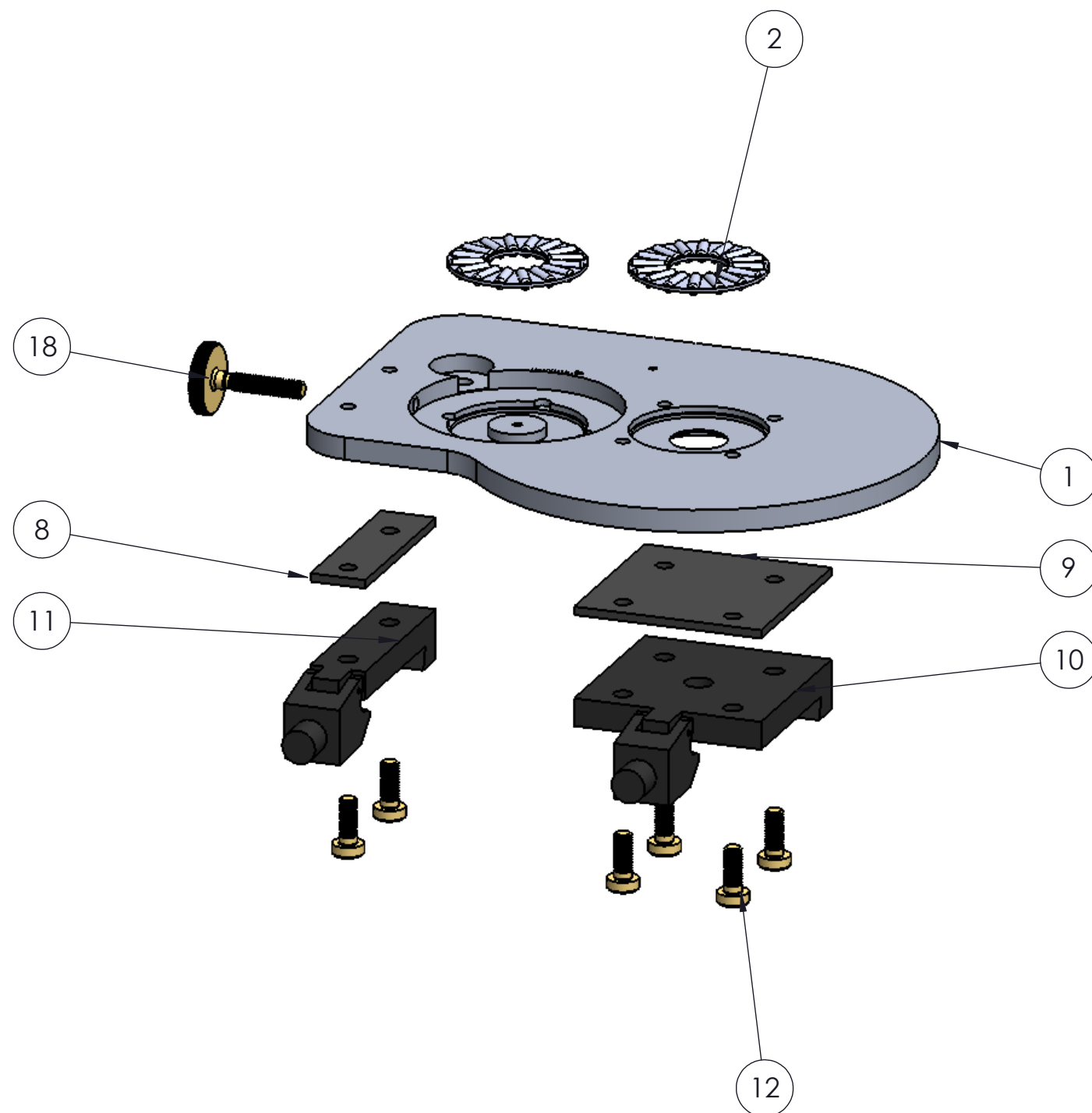
# Planos





44	ARANDELA SEGURIDAD 10x1	DIN 471 10x1	1	LATON
43	TORNILLO M4x6	DIN 913 M4x6	2	LATON
42	TORNILLO M2x3	DIN 913 M2x3	2	LATON
41	TORNILLO M4x16	DIN 7991 M4x16	2	LATON
40	TORNILLO M2x5	DIN 912 M2x5	2	LATON
39	TORNILLO M2x10	DIN 912 M2x10	1	LATON
38	TORNILLO. G.M M3x16	DIN 912 M3 x16	2	LATON
37	MOTOR-REDUCTOR	KA-28.41	1	ALUMINIO
36	SILENTBLOCK MOTOR	----	1	CAUCHO
35	SILENTBLOCK MORDAZA RANURADA	----	1	CAUCHO
34	SOPORTE MOTOR	----	1	ALUMINIO
33	VASO EJE MOTOR	R.8	1	ACERO
32	BOBINA	----	1	COBRE
31	PIEZA POLAR	----	1	HIERRO DULCE
30	CLIP	----	1	NYLON
29	MORDAZA GIRATORIA	----	1	ALUMINIO
28	TORNILLO. C M3x16	DIN 7991 M3x16	2	LATON
27	TAMBOR PRIMARIO Z.15	----	1	ALUMINIO
26	TAMBOR SECUNDARIO	----	1	ALUMINIO
25	ENGRANAJE Z.15	119-005-015	1	SELRIN
24	CARRO HORIZONTAL	----	1	ALUMINIO
23	BOLA CERAMICA	Si3N4	30	PORCELANA
22	TAMBOR PRIMARIO HUSILLO	----	1	ALUMINIO
21	ARANDELA SEGURIDAD 4x0.4	DIN 471 4x0.4	1	ACERO
20	HUSILLO	----	1	LATON
19	BANCO	----	1	ALUMINIO
18	TORNILLO.B M3x16	DIN 653 M3x16	1	LATON
17	BRIDA LENTE	----	2	PET
16	LENTE	N-SF11	2	CRISTAL
15	TAPA DE PROTECCION	----	1	PET
14	TORNILLO M3x3	DIN 913 M3x3	8	LATON
13	TAMBOR PRIMARIO Z.20	----	1	ALUMINIO
12	TORNILLO M3x8	DIN 7984 M3x8	6	LATON
11	MORDAZA GUIA PEQUEÑA	RT 40-10-M3	1	ALUMINIO
10	MORDAZA GUIA GRANDE	RT 40-34-M3	1	ALUMINIO
9	SILENTBLOCK GUIA GRANDE	----	1	CAUCHO
8	SILENTBLOCK GUIA PEQUEÑA	----	1	CAUCHO
7	ENGRANAJE Z.120	119-005-120	1	DELRIN
6	CASQUILLO Z.12-72	----	1	DELRIN
5	ENGRANAJE Z.72	119-005-072	1	DELRIN
4	ENGRANAJE Z.12	119-005-012	1	DELRIN
3	ENGRANAJE Z.20	119-005-020	1	DELRIN
2	RODAMIENTO	AXK 1024	2	PA 66
1	BASTIDOR	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL

	Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:	
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:			REALIZADO:		
SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			DANIEL DIAZ TERES		
			FIRMA:		
PLANO:			22-11-13	1:1	SO. 00.00
ENSAMBLAJE SOPORTE ELECTROIMAN					



18	TORNILLO M3 x 16	DIN 653 M3x16	1	LATON
12	TORNILLO M3 x 8	DIN 7984 M3x8	6	LATON
11	MORDAZA GUIA PEQUEÑO	RT 40-10-M3	1	ALUMINIO
10	MORDAZA GUIA GRANDE	RT 40-34-M3	1	ALUMINIO
9	SILEMBLOCK GUIA GRANDE	----	1	CAUCHO
8	SILEMBLOCK GUIA PEQUEÑA	----	1	CAUCHO
2	RODAMIENTO	AXK 1024	2	PA 66
1	BASTIDOR	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL



Universidad Pública  
de Navarra  
*Nafarroako*  
*Unibertsitate Publikoa*

**E.T.S.I.I.T.**  
INGENIERO  
TECNICO INDUSTRIAL M.

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
FISICA

PROYECTO:

**SOPORTE ELECTROIMAN PARA  
MAGNETO-OPTICA KERR**

REALIZADO:

**DANIEL DIAZ TERES**

FIRMA:

PLANO:

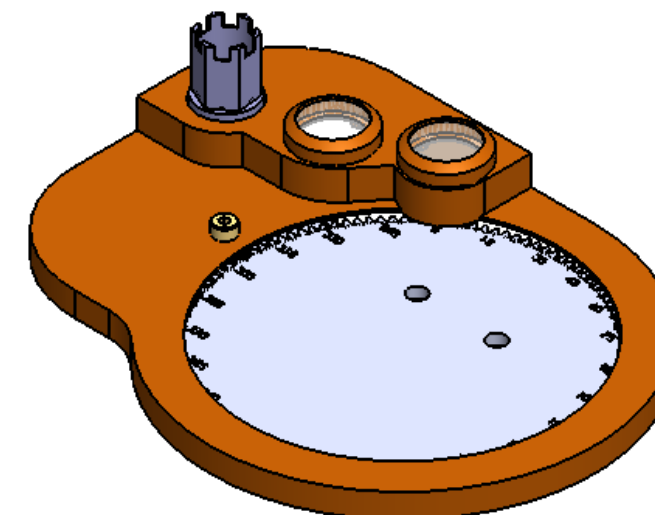
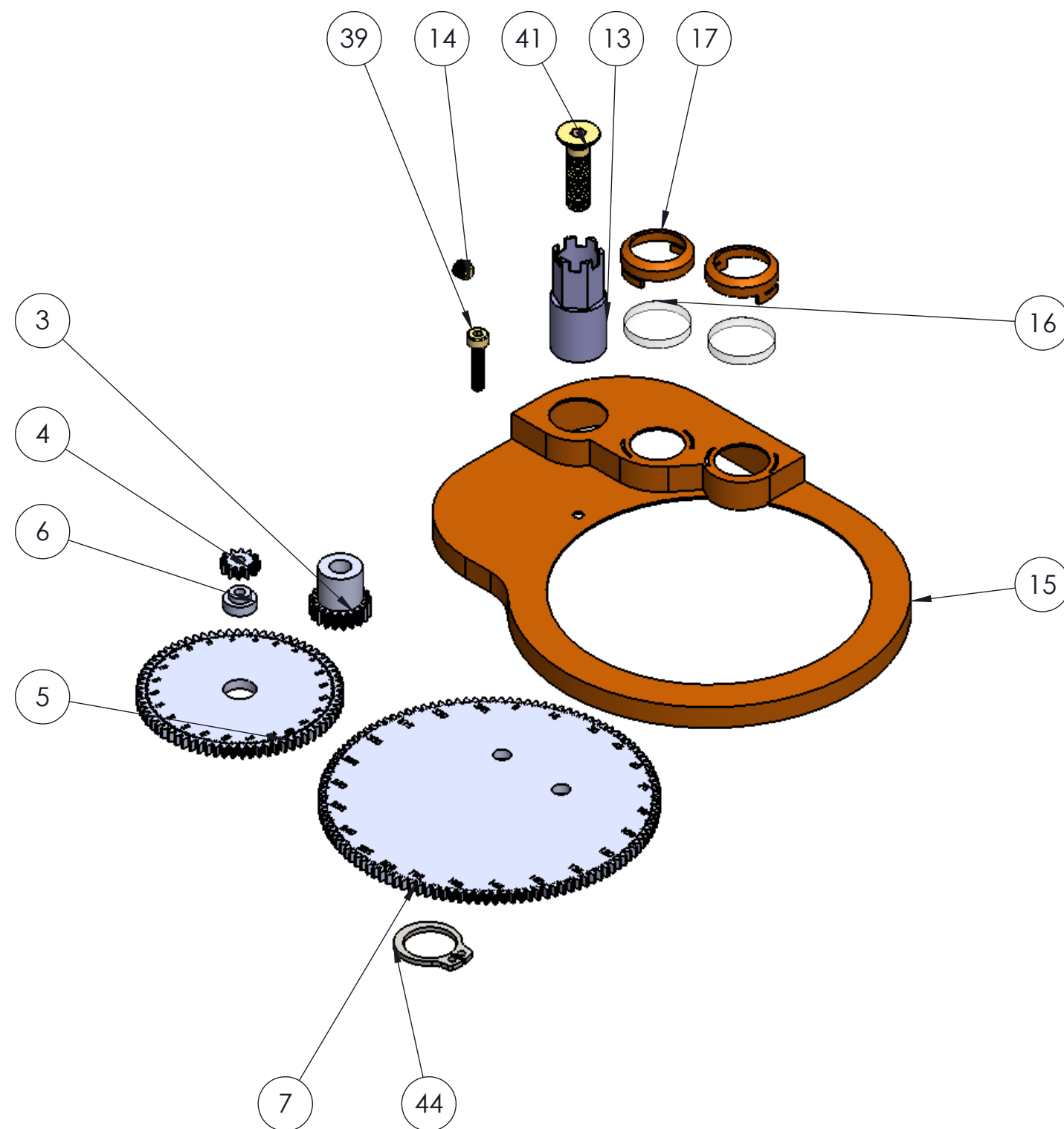
**ENSAMBLAJE BASE**

22-11-13


**1:1**

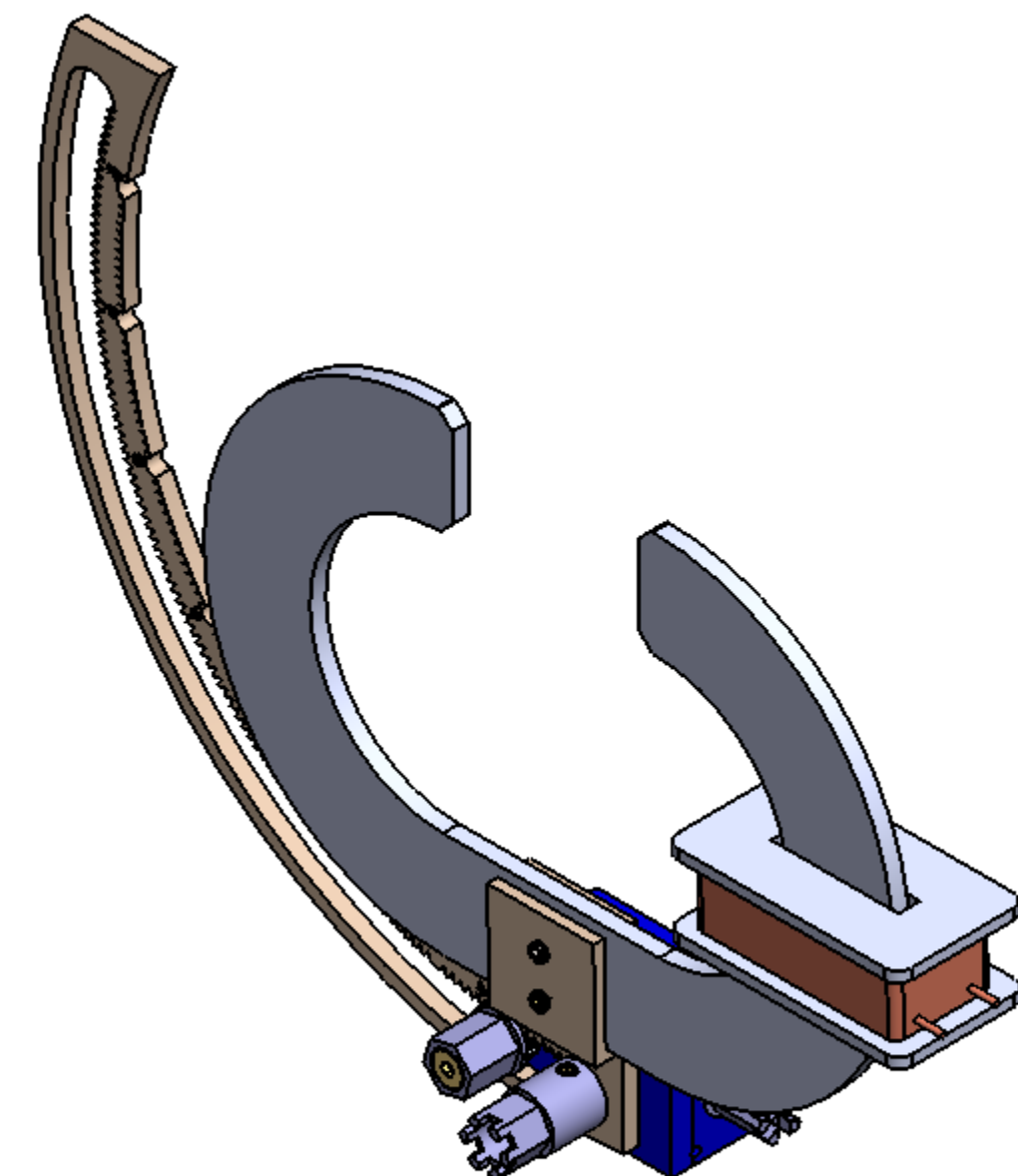
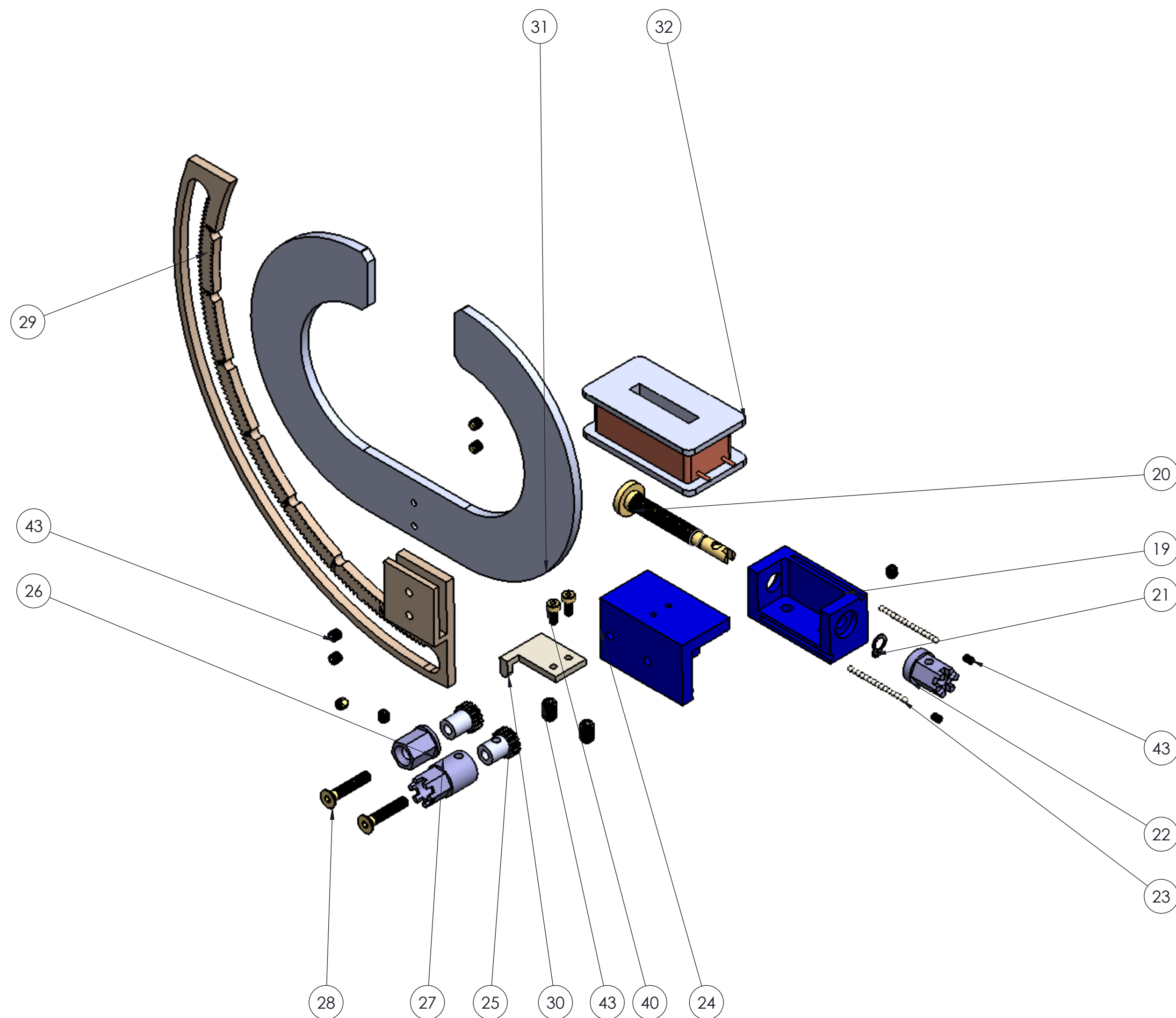
SO. 00.01





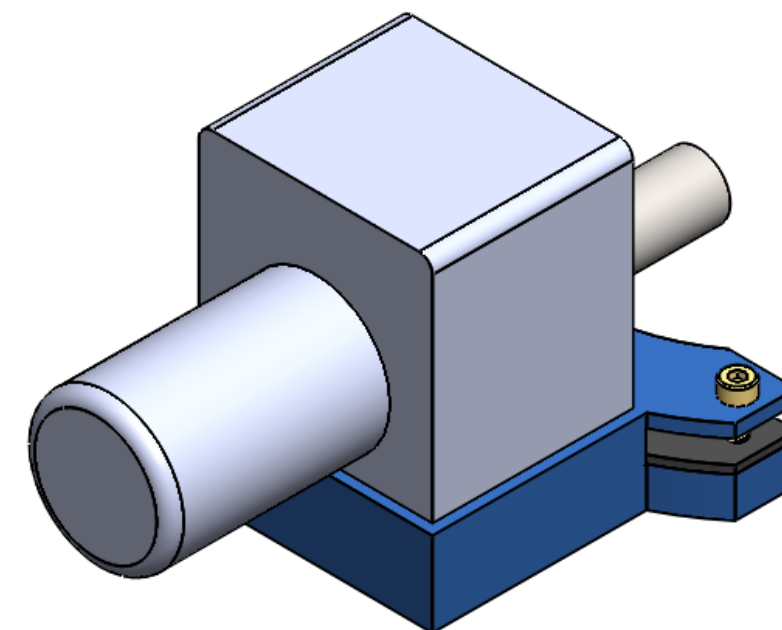
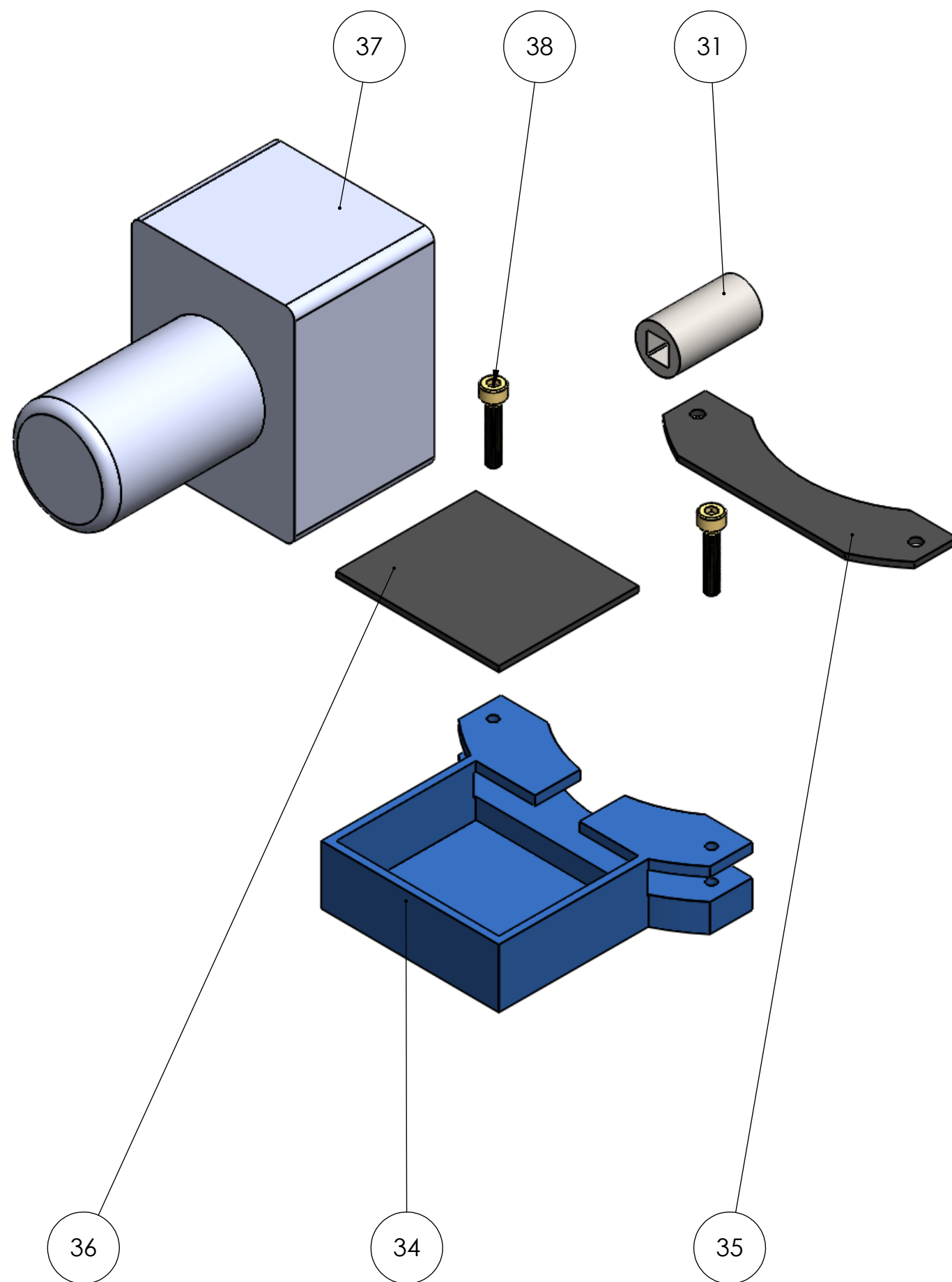
44	ARANDELA SEGURIDAD 10 x 1	DIN 471 10x1	1	ACERO
41	TORNILLO M4 x 16	DIN 7991 M4x16	1	LATON
39	TORNILLO M2 x 10	DIN 912 M2x10	1	LATON
17	BRIDA LENTE	----	2	PET
16	LENTE	N-SF11	2	CRISTAL
15	TAPA DE PROTECCION	----	1	PET
14	TORNILLO M3 x 3	DIN 913 M3X3	1	LATON
13	TAMBOR PRIMARIO Z.20	----	1	ALUMINIO
7	ENGRANAJE Z.120	119-005-120	1	DELRIN
6	CASQUILLO Z.12-72	----	1	DELRIN
5	ENGRANAJE Z.72	119-005-072	1	DELRIN
4	ENGRANAJE Z.12	119-005-012	1	DELRIN
3	ENGRANAJE Z.20	119-005-020	1	DELRIN
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO:		REALIZADO:		
SOPORE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR		DANIEL DIAZ TERES		
PLANO:		FIRMA:		
ENSAMBLAJE CAJA DE AVANCE		22-11-12	1:1	SO.00.02




43	TORNILLO M4 x 6	DIN 913 M4x6	2	LATON
40	TORNILLO M2 x 5	DIN 912 M2X5	2	LATON
32	BOBINA	----	1	COBRE
31	PIEZAS POLARES	----	1	HIERRO DULCE
30	CLIP	----	1	NYLON
29	MORDAZA GIRATORIA	----	1	ALUMINIO
28	TORNILLO. C M3 x 16	DIN 7991 M3x16	2	LATON
27	TAMBOR PRIMARIO Z.15	----	1	ALUMINIO
26	TAMBOR SECUNDARIO	----	1	ALUMINIO
25	ENGRANAJE Z.15	119-005-015	2	DELRIN
24	CARRO HORIZONTAL	----	1	ALUMINIO
23	BOLA CERAMICA	SI3N4	30	PORCELANA
22	TAMBOR PRIMARIO HUSILLO	----	1	ALUMINIO
21	ARANDELA SEGURIDAD 4 x 0,4	DIN 471 4X0.4	1	ACERO
20	HUSILLO	----	1	LATON
19	BANCO	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL

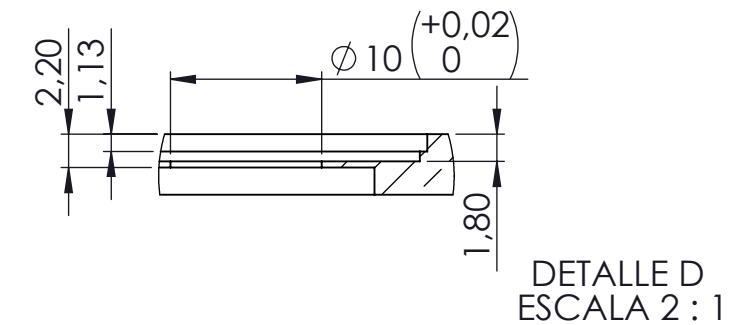
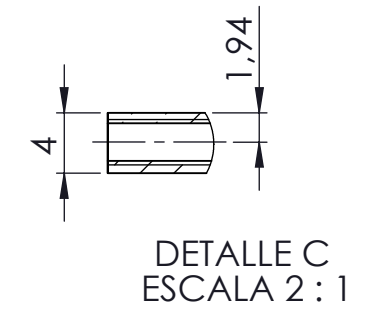
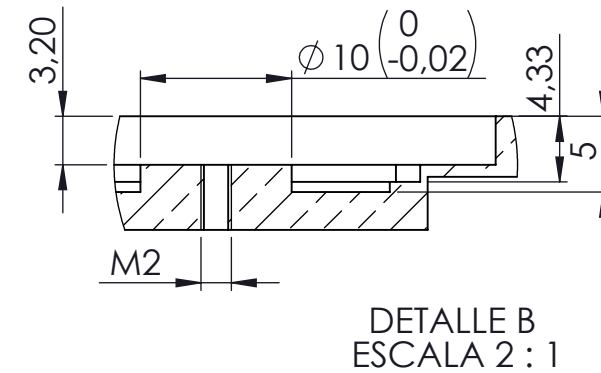
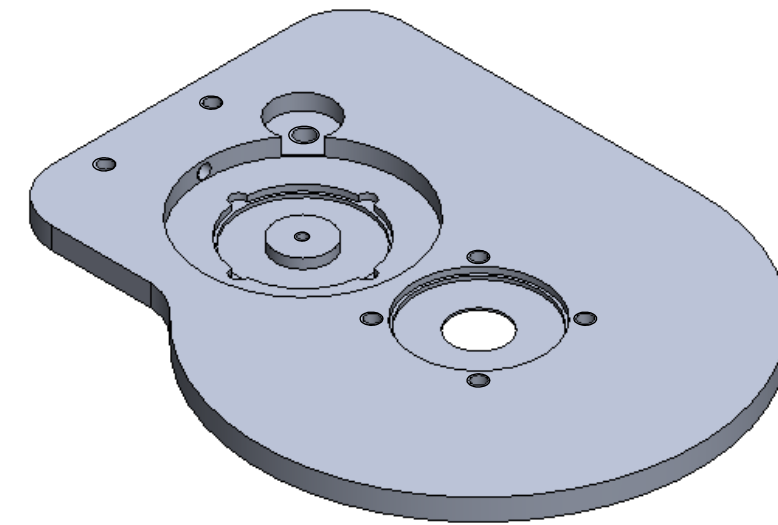
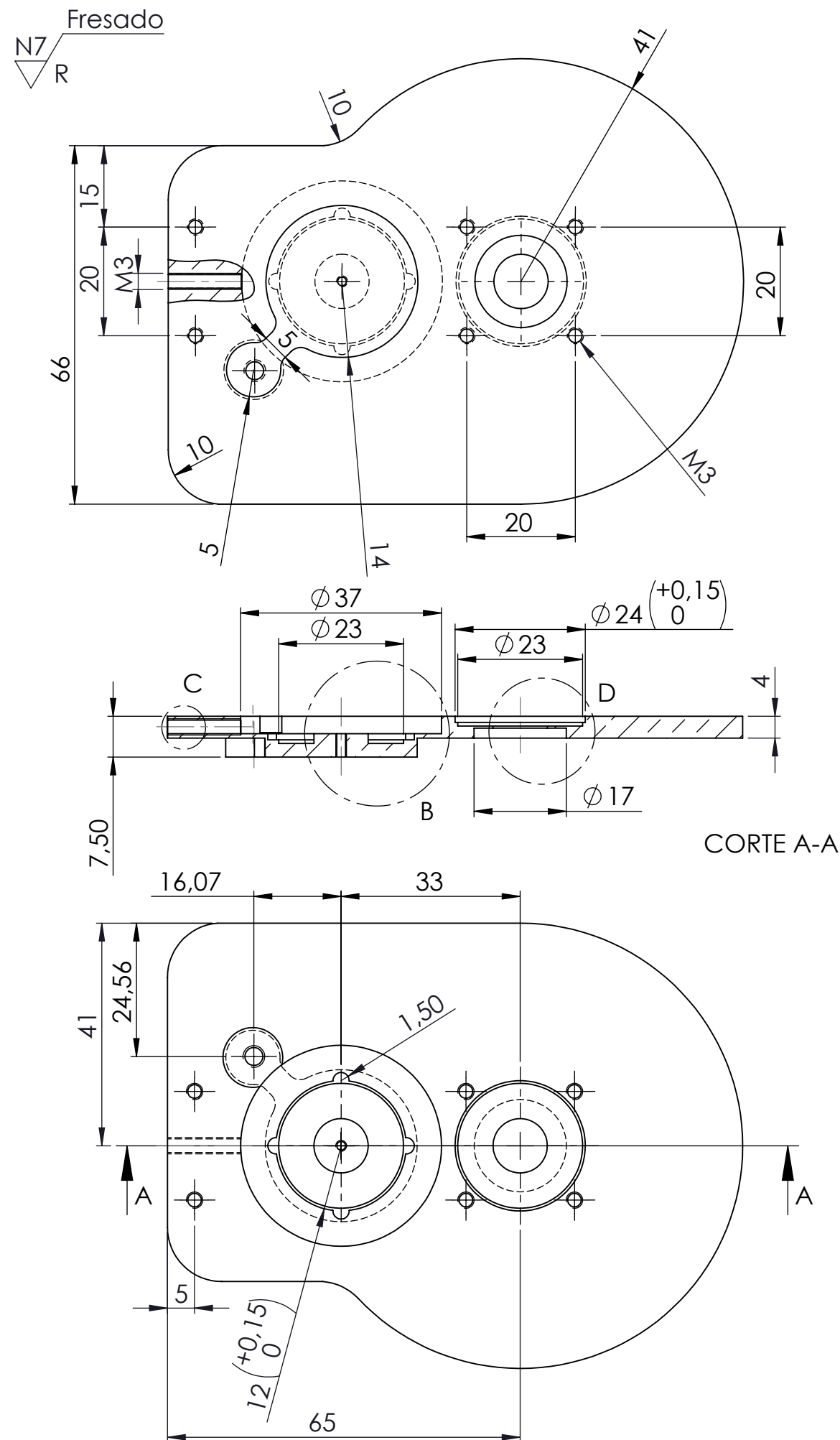
	Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	Nafarroako Unibertsitate Publikoa		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES		
			FIRMA:		
PLANO:  ENSAMBLAJE CUERPO			22-11-12	1:1	SO. 00.03




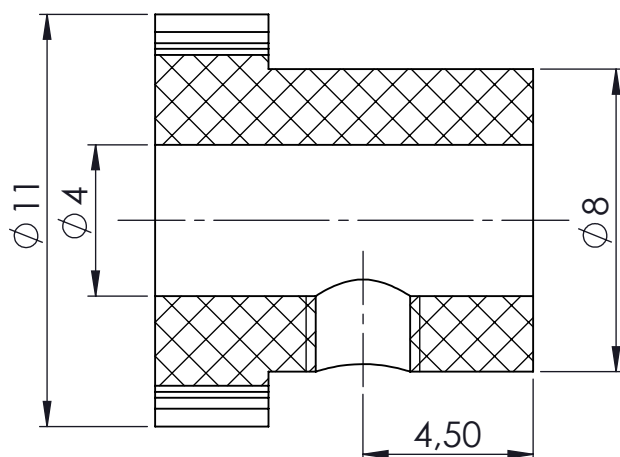
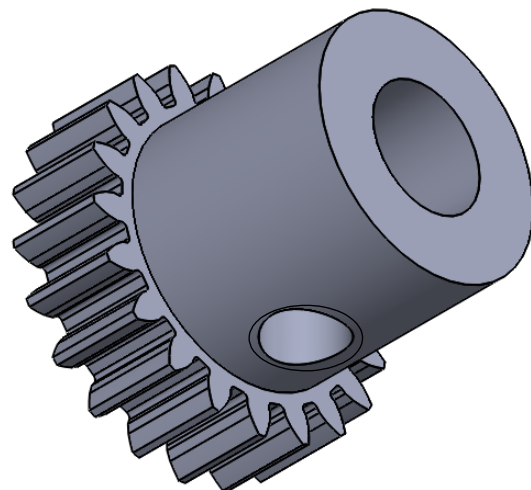
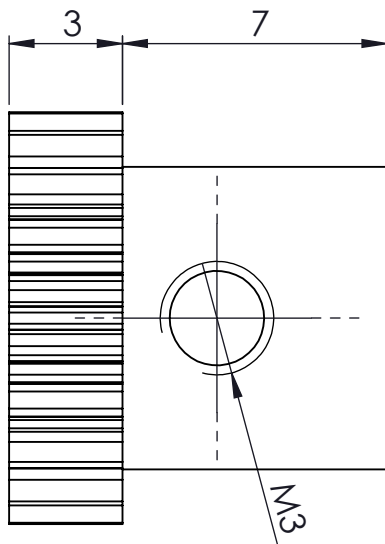
38	TORNILLO M3 x 16	DIN 912 M3x16	2	LATON
37	MOTOR-REDUCTOR	K30-28.41	1	ALUMINIO
36	SILEMBLOCK MOTOR	----	1	CAUCHO
35	SILEMBLOCK MORDAZA RANURA	----	1	CAUCHO
34	SOPORTE MOTOR	----	1	ALUMINIO
31	VASO EJE MOTOR	R.8	1	ACERO
MARCA	DENOMINACION	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.			
PROYECTO: <b>SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR</b>			REALIZADO: DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO: ENSAMBLAJE GRUPO MOTOR			22-11-12	1:1 SO. 00.04

Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM



1	BASTIDOR	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:  DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.			
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  BASTIDOR			22-11-13	1:2  SO. 01.05

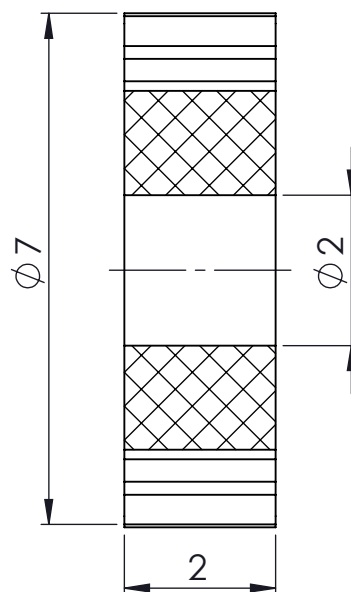
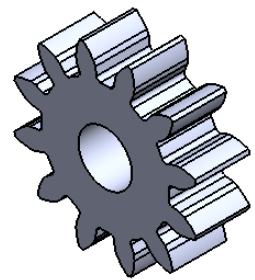


DATOS DE ENGRANAJE		
Modulo	m	0.5
Nº de dientes	Z	20
Cremallera tipo		UNE 18016
Diámetro primitivo	dp	10
Medida entre 3 dientes	K	3.83
Distancia entre ejes	C	23
Rueda conjugada	Nº de dientes Z	72
	Plano nº	SO. 05.09

Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM


3	ENGRANAJE Z.20	119-005-020	1	DELRIN
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  ENGRANAJE Z.20			22-11-12	5:1  SO. 03.07



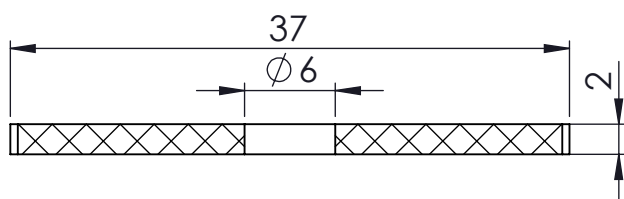
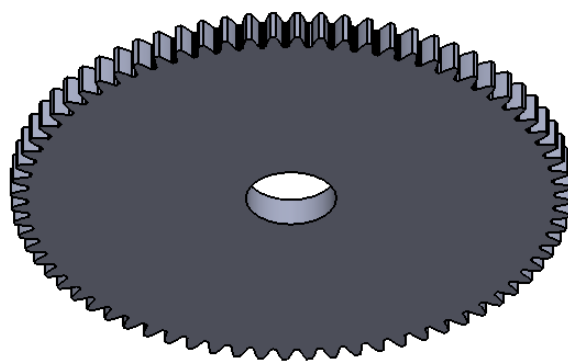


DATOS ENGRANAJE		
Modulo	m	0.5
Nº de dientes	Z	12
Cremallera tipo		UNE 18016
Diámetro primitivo	dp	6
Medida entre 2 dientes	K	2.3
Distancia entre ejes	C	33
Rueda conjugada	Nº de dientes Z	120
	Plano nº	SO. 07.11

Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM


4	ENGRANAJE Z.12	119-005-012	1	DELFIN
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:  DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.			
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  ENGRANAJE Z.12			22-11-12	10:1 SO. 04.08

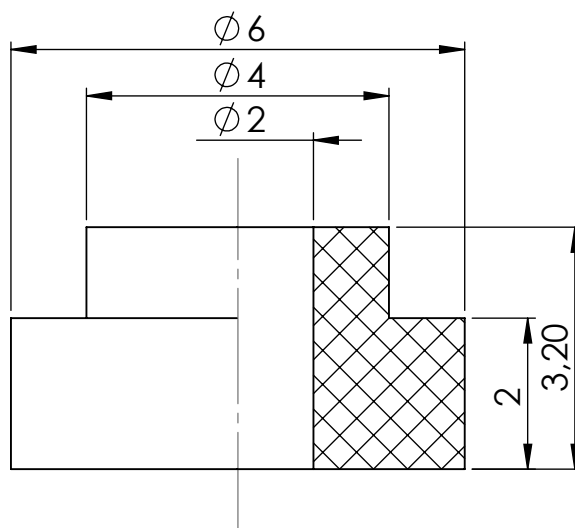
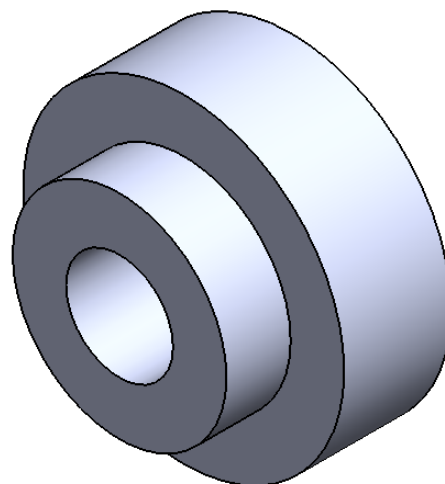





DATOS DE ENGRANAJE		
Modulo	m	0.5
Nº de dientes	Z	72
Cremallera tipo		UNE 18016
Diámetro primitivo	dp	36
Medida entre 8 dientes	K	11.6
Distancia entre ejes	C	23
Rueda conjugada	Nº de dientes Z	20
	Plano nº	SO. 03.07

Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM

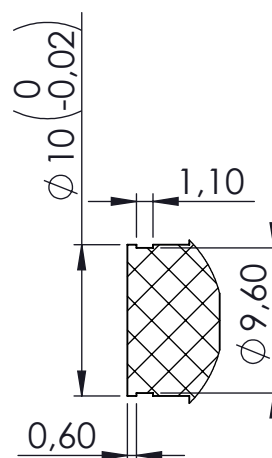
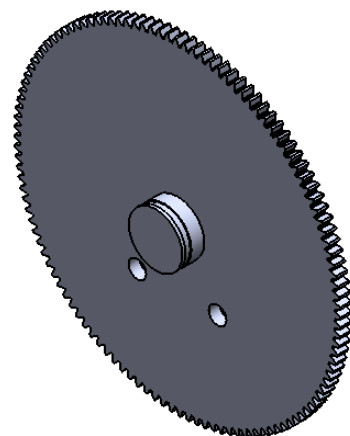
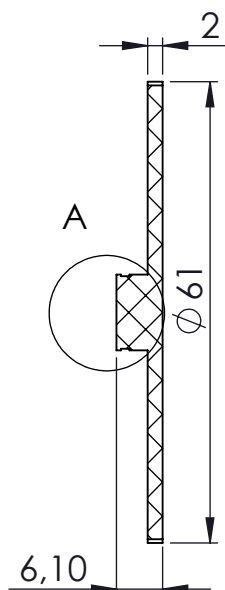
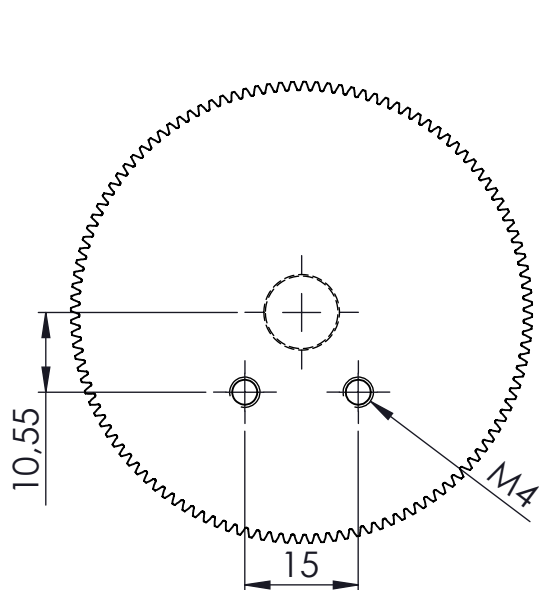
5	ENGRANAJA Z.72	119-005-072	1	DELFIN
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:  DEPARTAMENTO DE FISICA	
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  ENGRANAJE Z.72			22-11-12	2:1
				SO.05.09



Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM

6	CASQUILLO Z.12-72	----	1	DELRIN
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
	Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
	Nafarroako Unibertsitate Publikoa	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  CASQUILLO Z.12-72			22-11-12	10:1 SO. 06.10

N8 Fresado

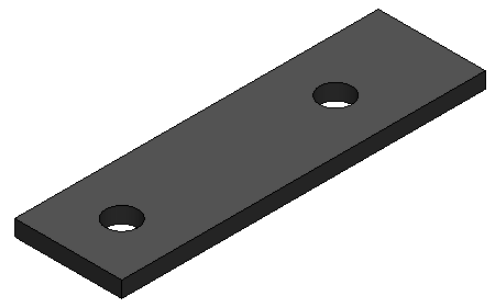


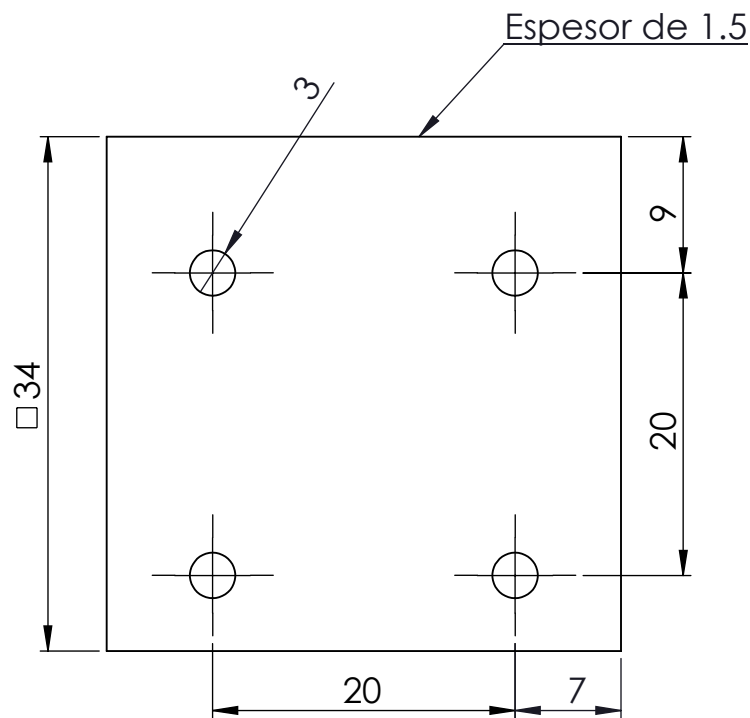
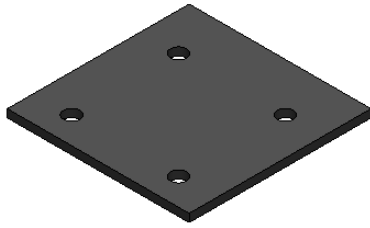
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1


DATOS DE ENGRANAJE		
Modulo	m	0.5
Nº de dientes	Z	120
Cremallera tipo		UNE 18016
Diámetro primitivo	dp	60
Medida entre 9 dientes	K	13.4
Distancia entre ejes	C	33
Rueda conjugada	Nº de dientes Z	12
	Plano nº	SO. 04.08

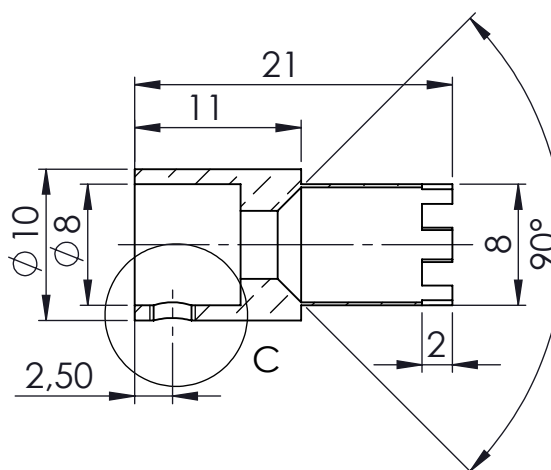
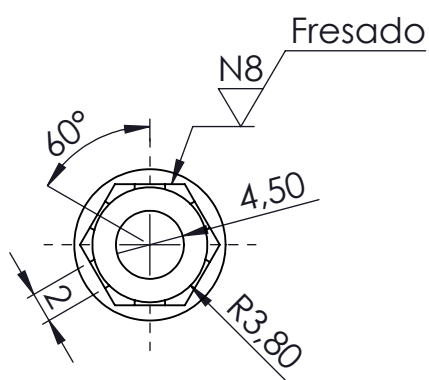
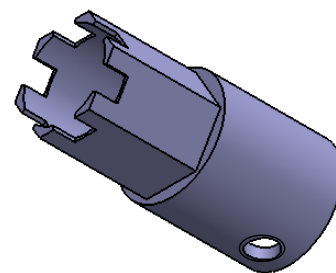
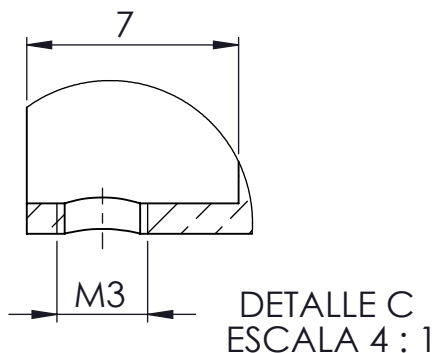
Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM

7	ENGRANAJE Z.120	119-005-120	1	DELRIN
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  ENGRANAJE Z.120			22-11-12	1:1  SO. 07.11




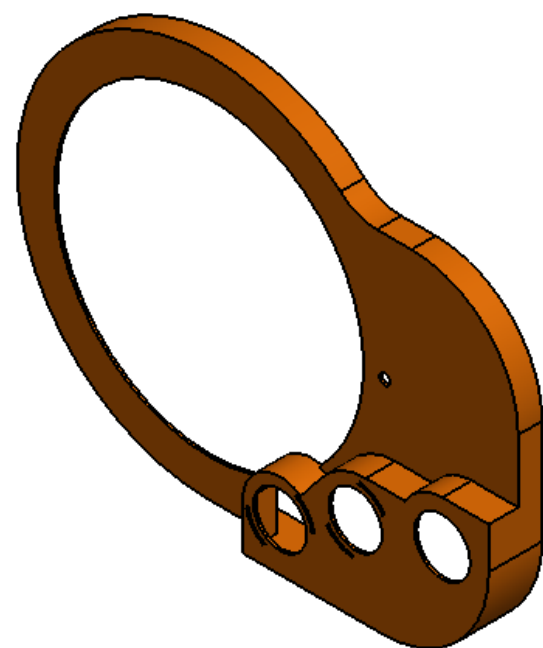
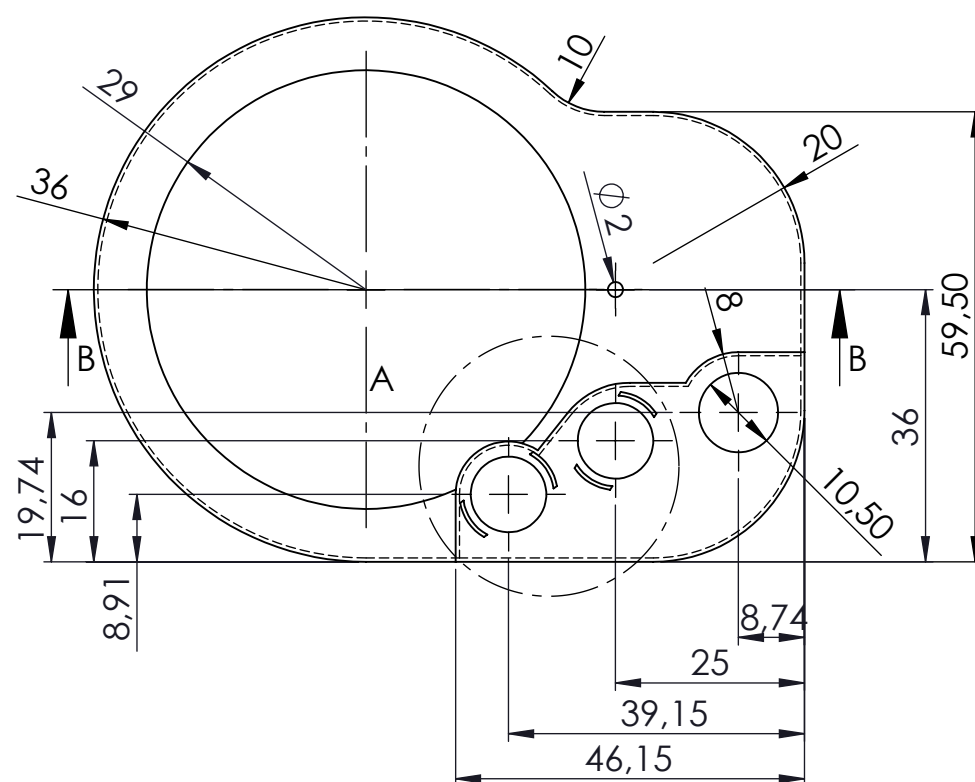
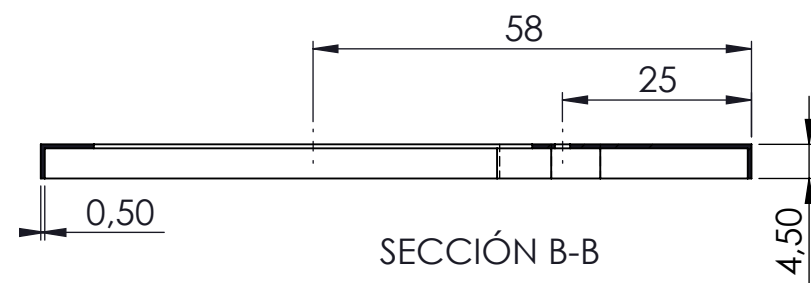


9	SILENTBLOCK GUIA GRANDE	----	1	CAUCHO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
	Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	Nafarroako Unibertsitate Publikoa	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  SILENTBLOCK GUIA GRANDE			22-11-12	2:1
				SO. 09. 13

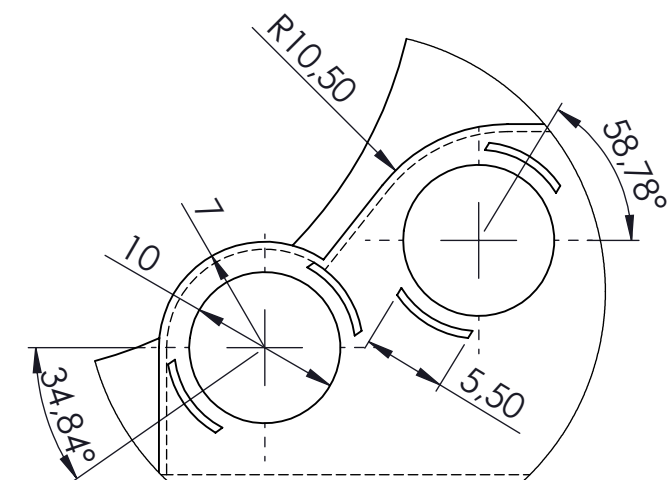


Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM

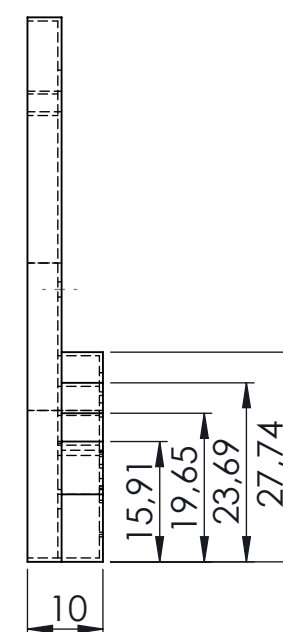
13	TAMBOR PRIMARIO Z.20	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
	Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  TAMBOR PRIMARIO Z.20			22-11-13	2:1 SO.13.14




Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM

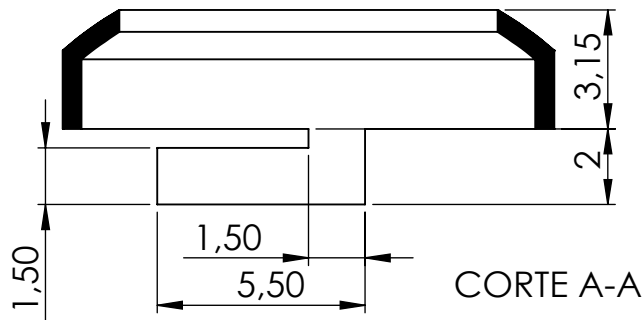
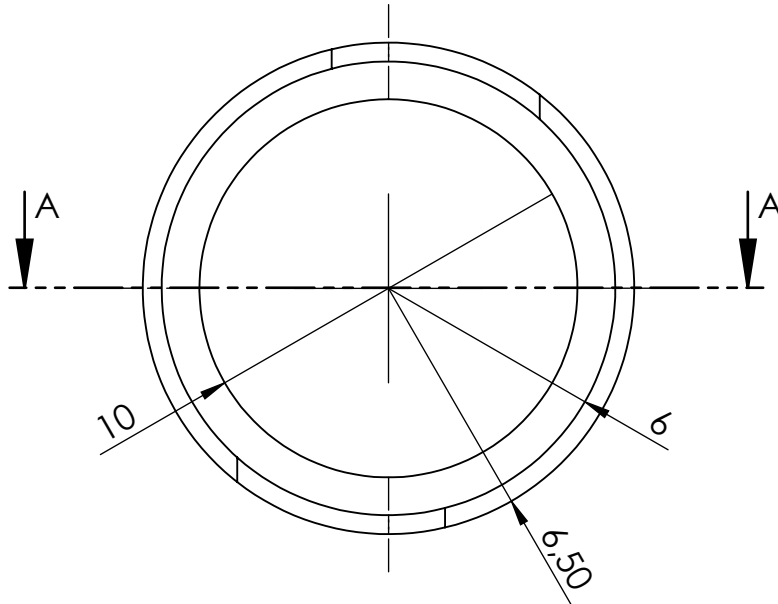
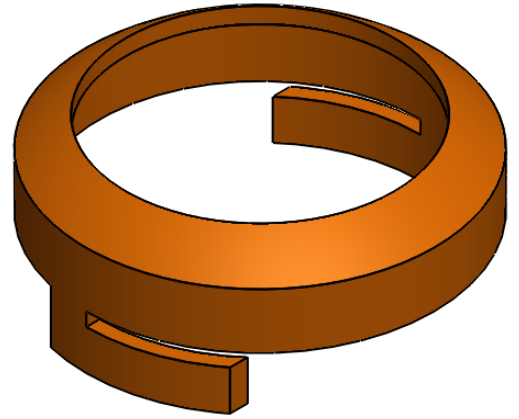



DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



15	TAPA DE PROTECCION	----	1	PET
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 <div>Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i></div>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:  DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.			
PROYECTO:  TITULO DEL PROYECTO			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:	TAPA DE PROTECCION		22-11-13	1:1
				SO.15.15

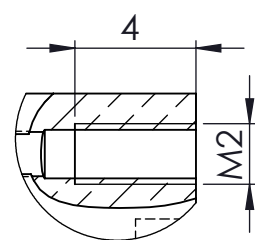
Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM



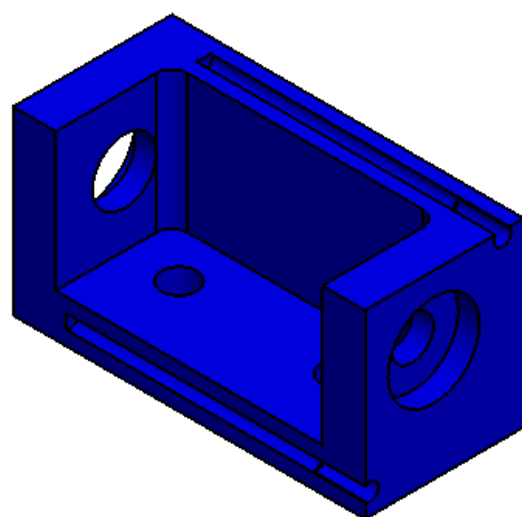
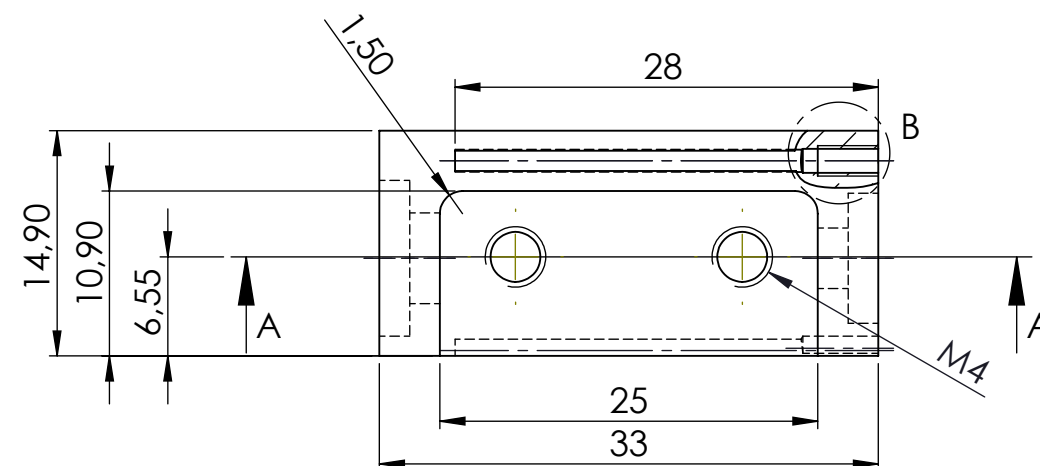
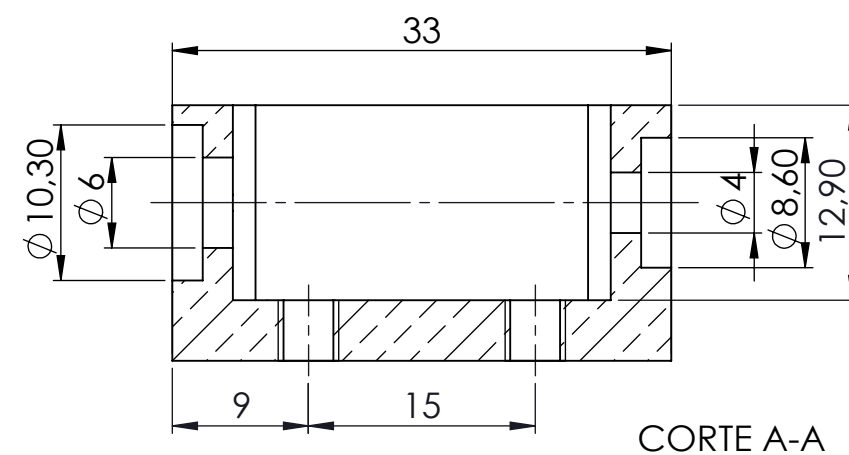
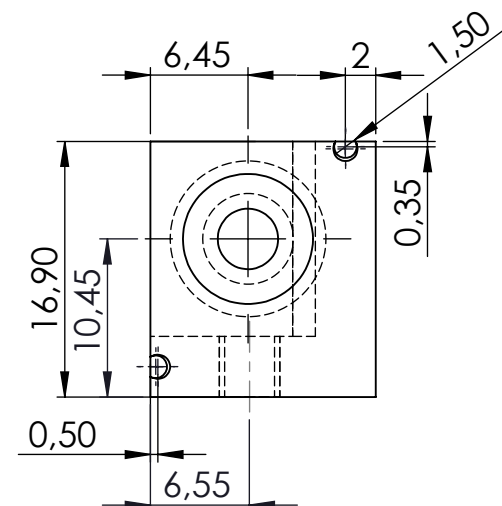
17	BRIDA LENTE	----	2	PET
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO:  SOORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  BRIDA LENTE			22-11-13	5:1 SO.17.16




N8 / Fresado  
=



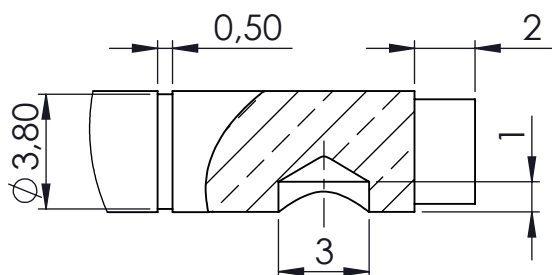
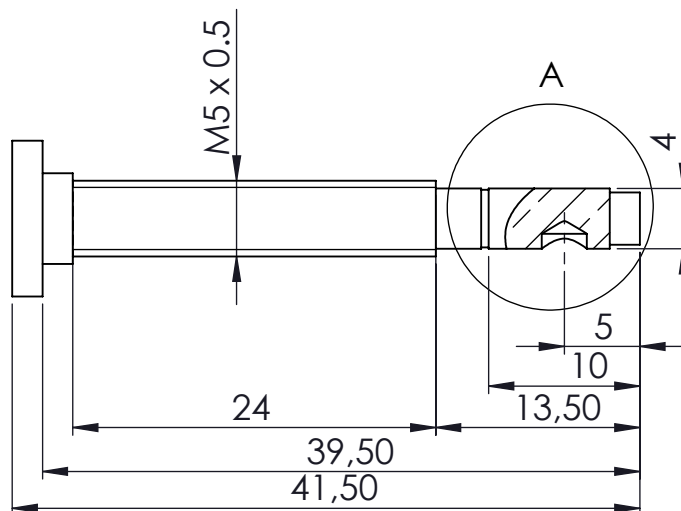
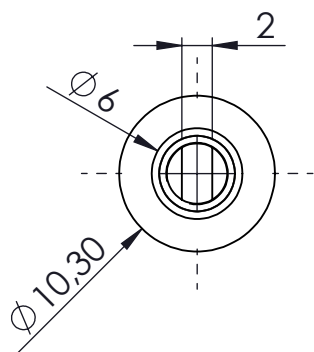
DETALLE B  
ESCALA 4 : 1



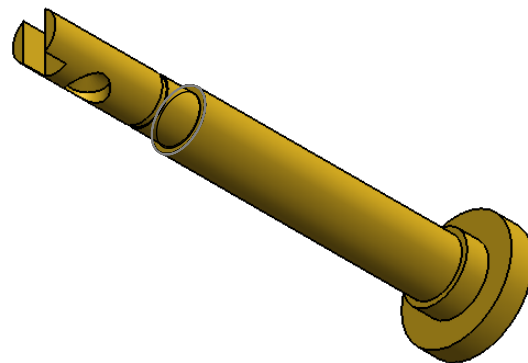
Medidas sin tolerancias, DIN 7168 GM

19	BANCO	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 <div>Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i></div>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  BANCO			22-11-13	2:1
			SO. 19.18	


N8 Torneado

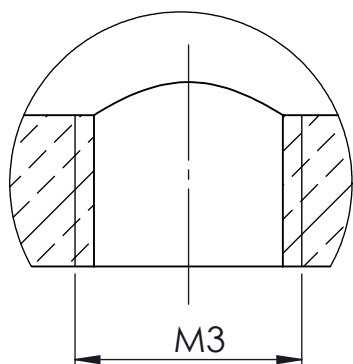


DETALLE A  
ESCALA 4 : 1

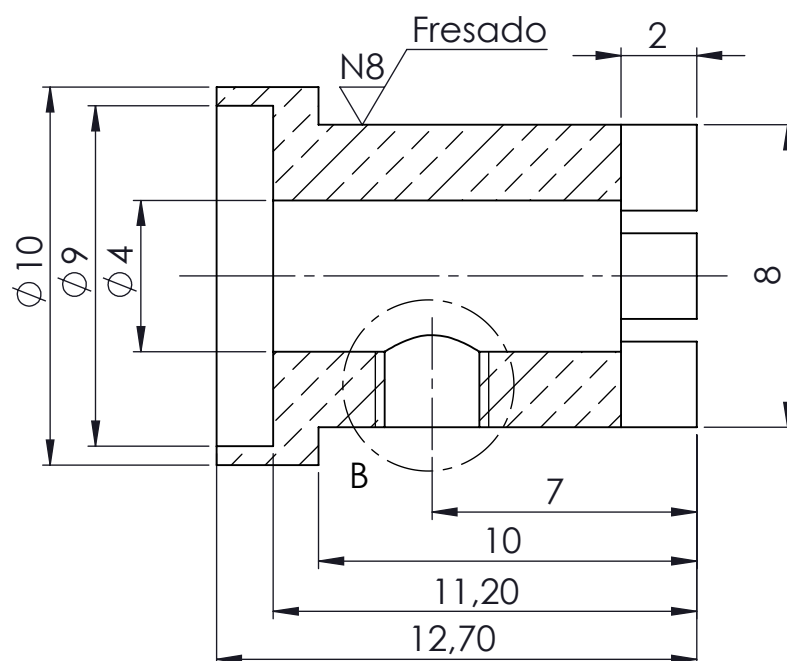
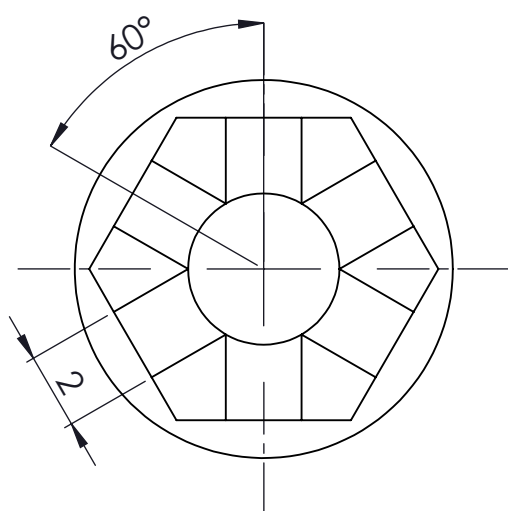
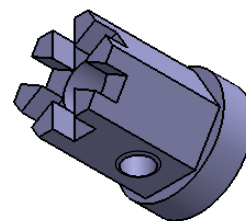


Medidas sin tolerancia, DIN 7169 GM


20	HUSILLO	----	1	LATON
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  HUSILLO			22-11-12	2:1
				SO. 20.19



DETALLE B  
ESCALA 10 : 1

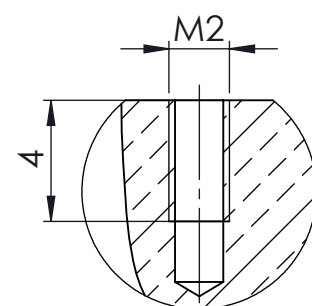
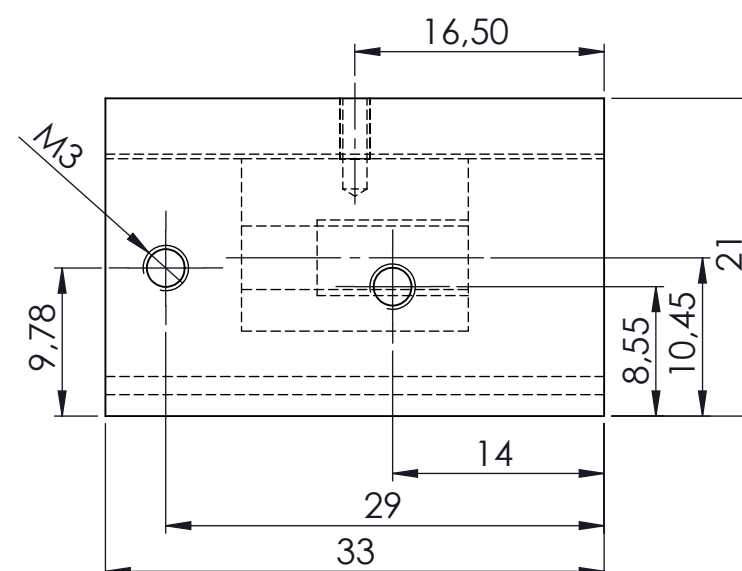
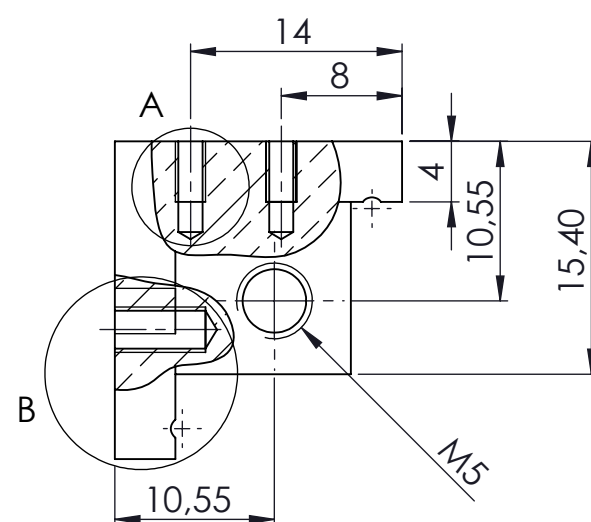
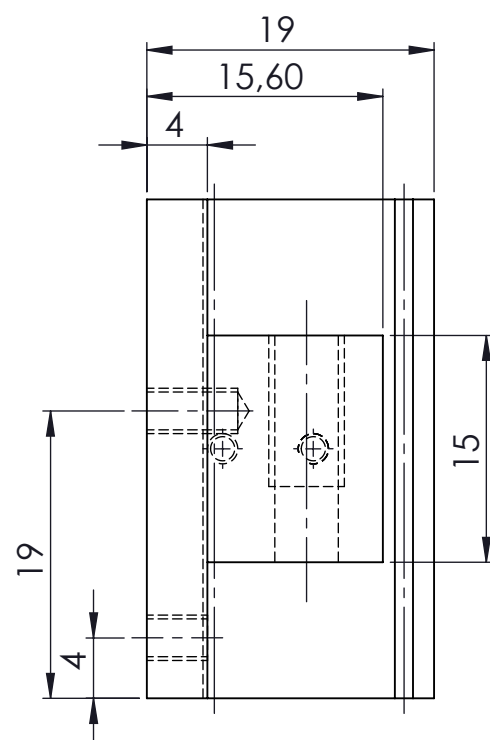
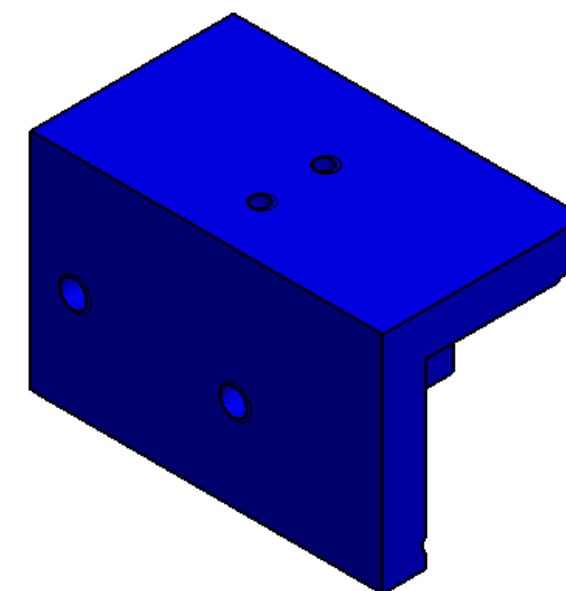


Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM

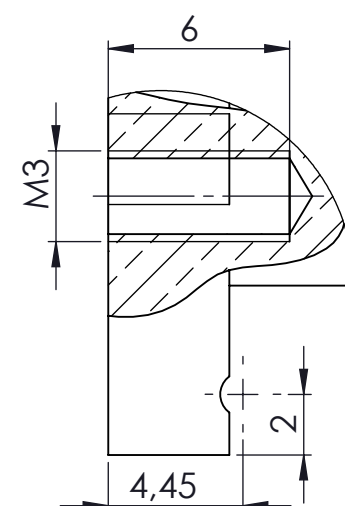
22	TAMBOR PRIMARIO HUSILLO	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
	Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:  DEPARTAMENTO DE FISICA	
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  TAMBOR PRIMARIO HUSILLO			22-11-13	5:1
				SO. 22. 20

N8  
Fresado  
=


Medidas sin tolerancia. DIN 7168 GM

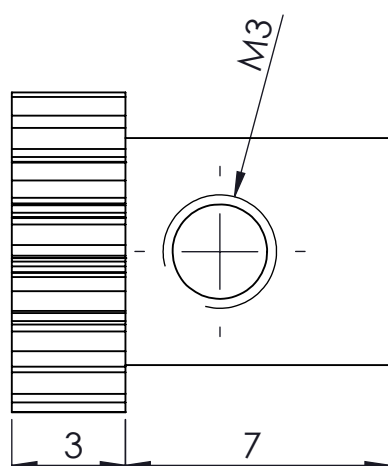
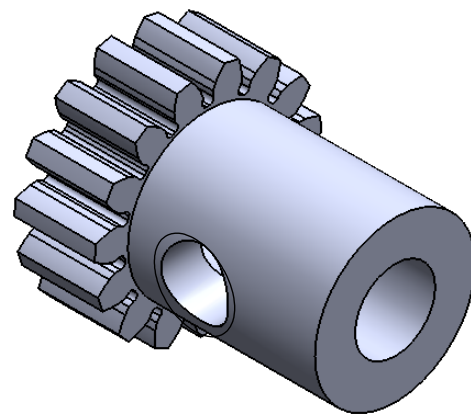
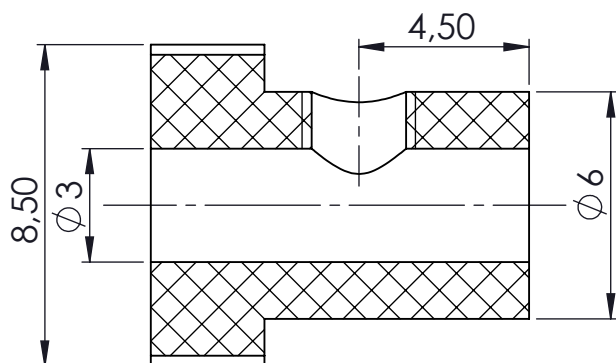


DETALLE A  
ESCALA 4 : 1



DETALLE B  
ESCALA 4 : 1


24	CARRO HORIZONTAL	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 <div>Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i></div>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  CARRO HORIZONTAL			22-11-13	2:1  SO. 24.21

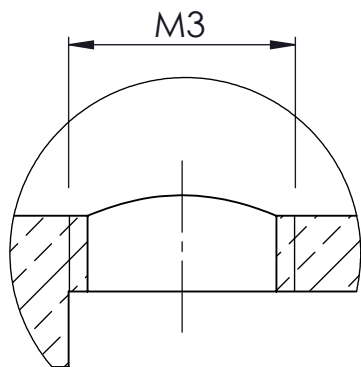


#### DATOS DE ENGRANAJE

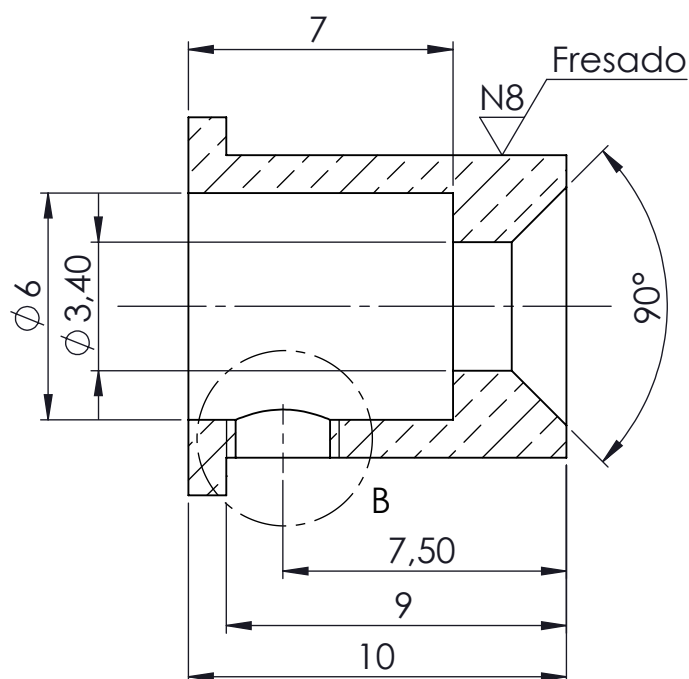
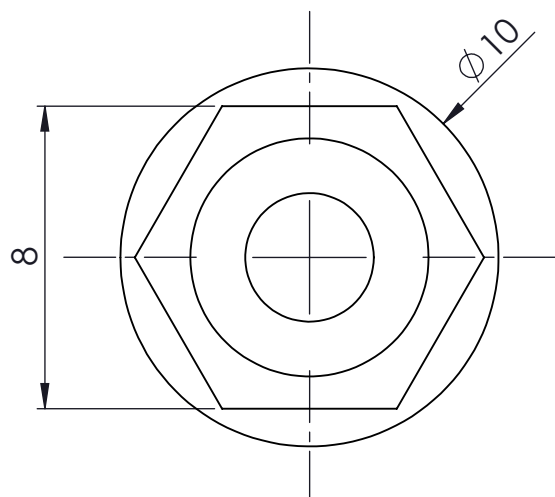
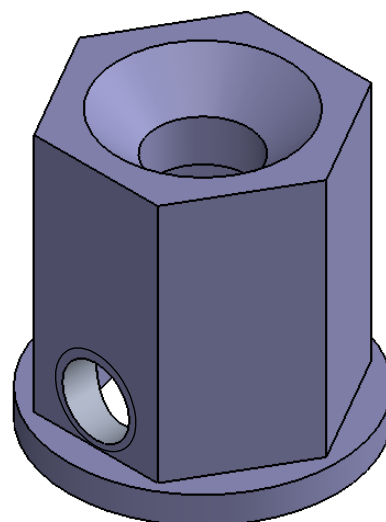
Modulo	m	0.5
Nº de dientes	Z	15
Cremallera tipo		UNE 18016
Diámetro primitivo	dp	7.5
Medida entre 2 dientes	K	2.3
Distancia entre ejes	C	91.75
Rueda conjugada	Nº de dientes Z	352
	Plano nº	SO. 29.25

Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM


25	ENGRANAJE Z.15	119-005-015	2	DELIN
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 <div>Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i></div>		<div>E.T.S.I.I.T.</div> <div>INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.</div>	<div>DEPARTAMENTO:</div> <div>DEPARTAMENTO DE FISICA</div>	
<div>PROYECTO:</div> <div>SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR</div>			<div>REALIZADO:</div> <div>DANIEL DIAZ TERES</div>	
			<div>FIRMA:</div>	
<div>PLANO:</div> <div>ENGRANAJE Z.15</div>			22-11-13	<div>5:1</div> <div>SO. 25.22</div>

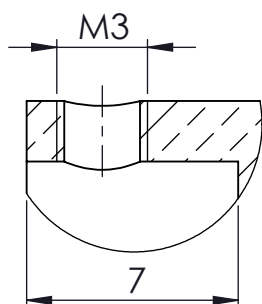
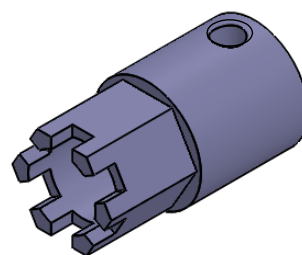


DETALLE B  
ESCALA 10 : 1

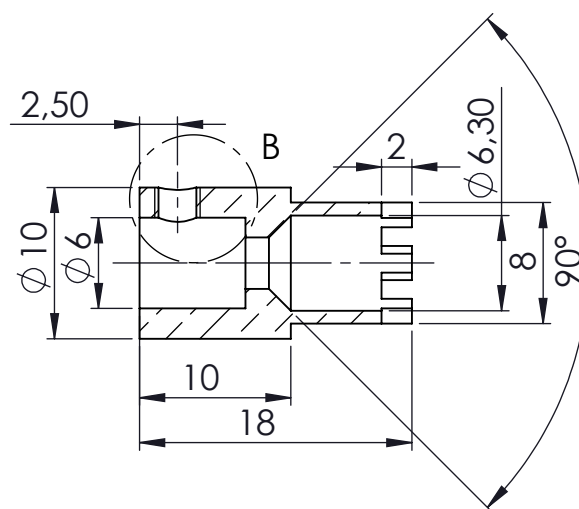
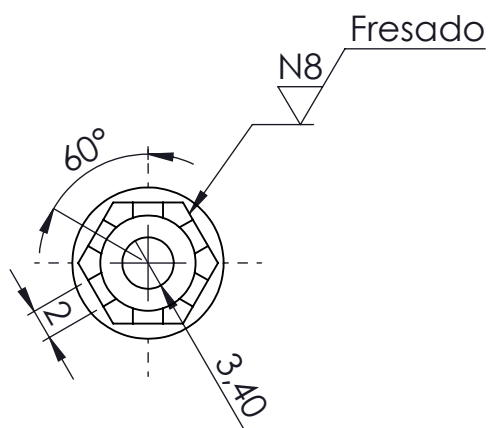


Medidas sin tolerancias, DIN 7168 GM


26	TAMBOR SECUNDARIO	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.			
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  TAMBOR SECUNDARIO			22-11-13	5:1
				SO. 26.23

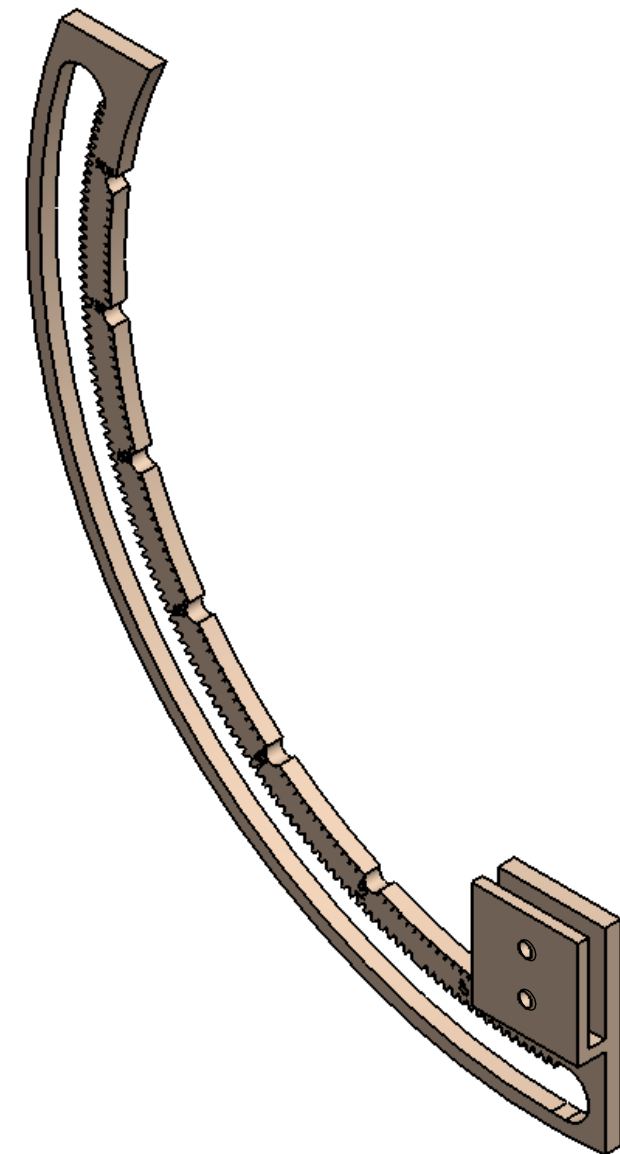
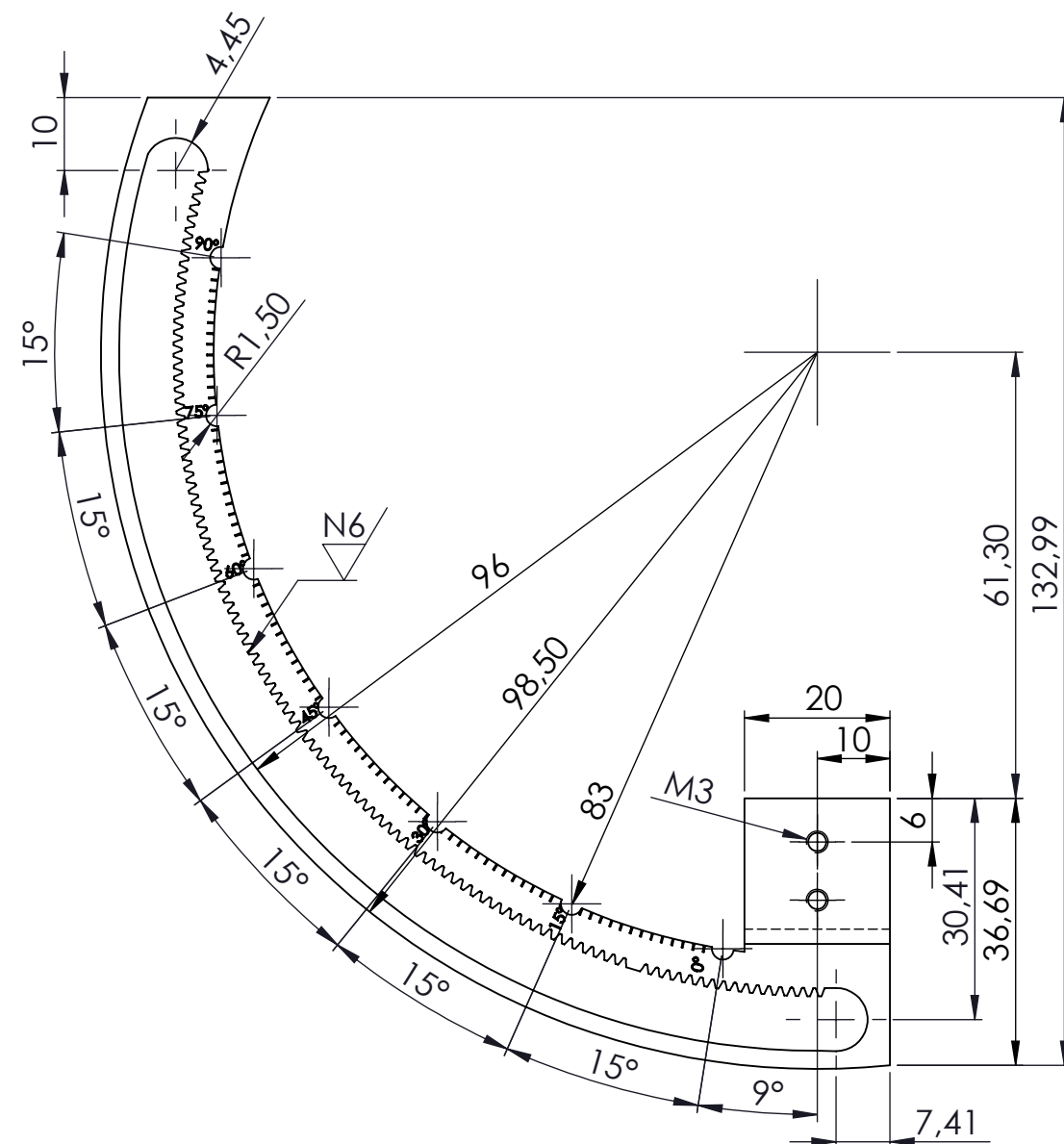
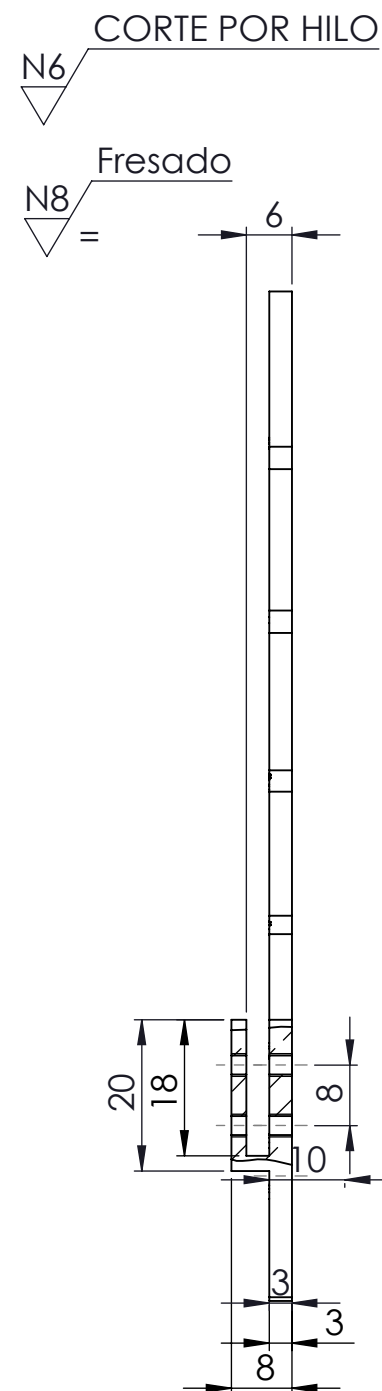


DETALLE B  
ESCALA 4 : 1




Medidas sin tolerancia, DIN 7168 GM

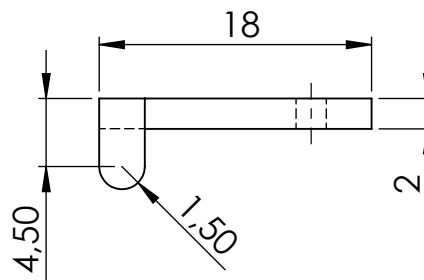
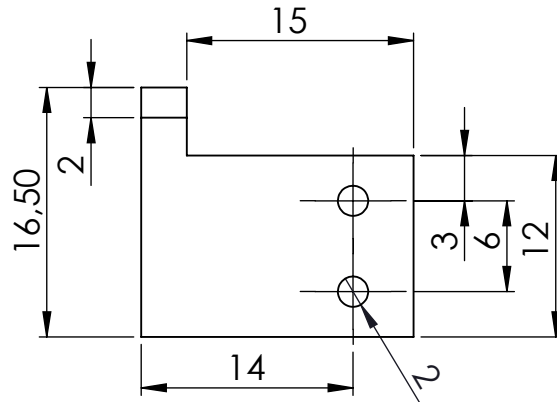
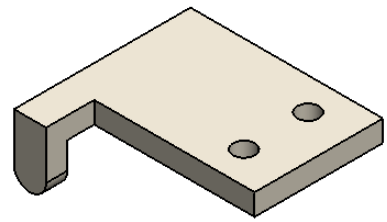
27	TAMBOR PRIMARIO Z.15	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
<div><div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div></div>		<div>E.T.S.I.I.T.</div> <div>INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.</div>	<div>DEPARTAMENTO:</div> <div>DEPARTAMENTO DE FISICA</div>	
<div>PROYECTO:</div> <div>SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR</div>			<div>REALIZADO:</div> <div>DANIEL DIAZ TERES</div>	
			<div>FIRMA:</div>	
<div>PLANO:</div> <div>TAMBOR PRIMARIO Z.15</div>			<div>22-11-13</div>	<div>2:1</div> <div>SO. 27.24</div>




DATOS DE ENGRANAJE		
Modulo	m	0.5
Nº de dientes	Z	352
Cremallera tipo		UNE 18016
Diámetro primitivo	dp	176
Medida entre 9 dientes	K	15
Distancia entre ejes	C	91.75
Rueda conjugada	Nº de dientes Z	15
	Plano nº	SO. 25.22

29	MORDAZA GIRATORIA	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:  DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.			
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIA TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  MORDAZA GIRATORIA			22-11-13	1:1  SO. 29.25

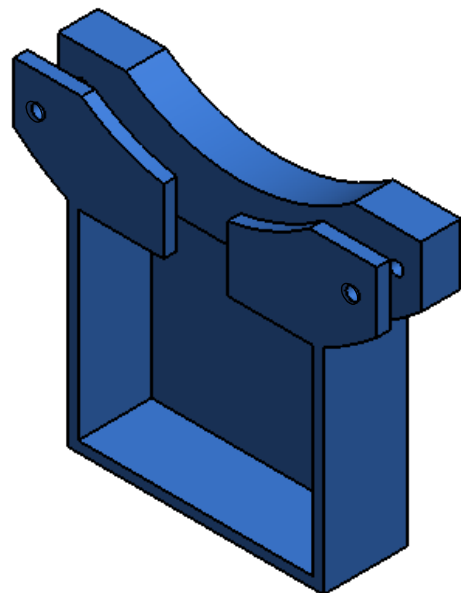
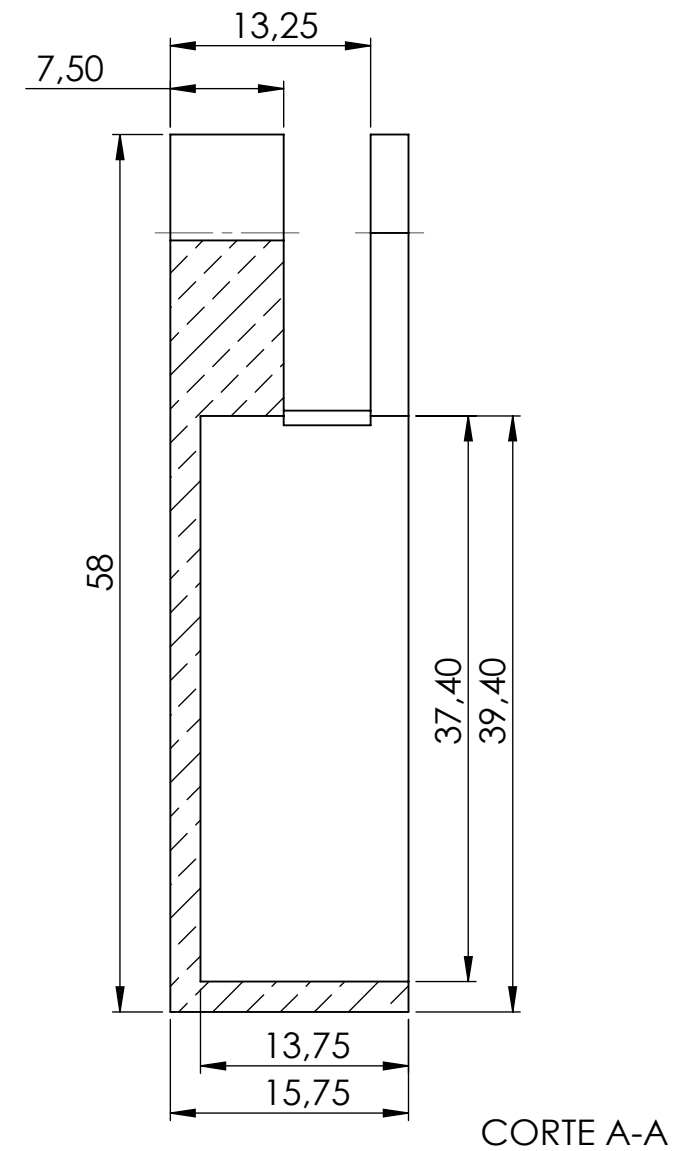
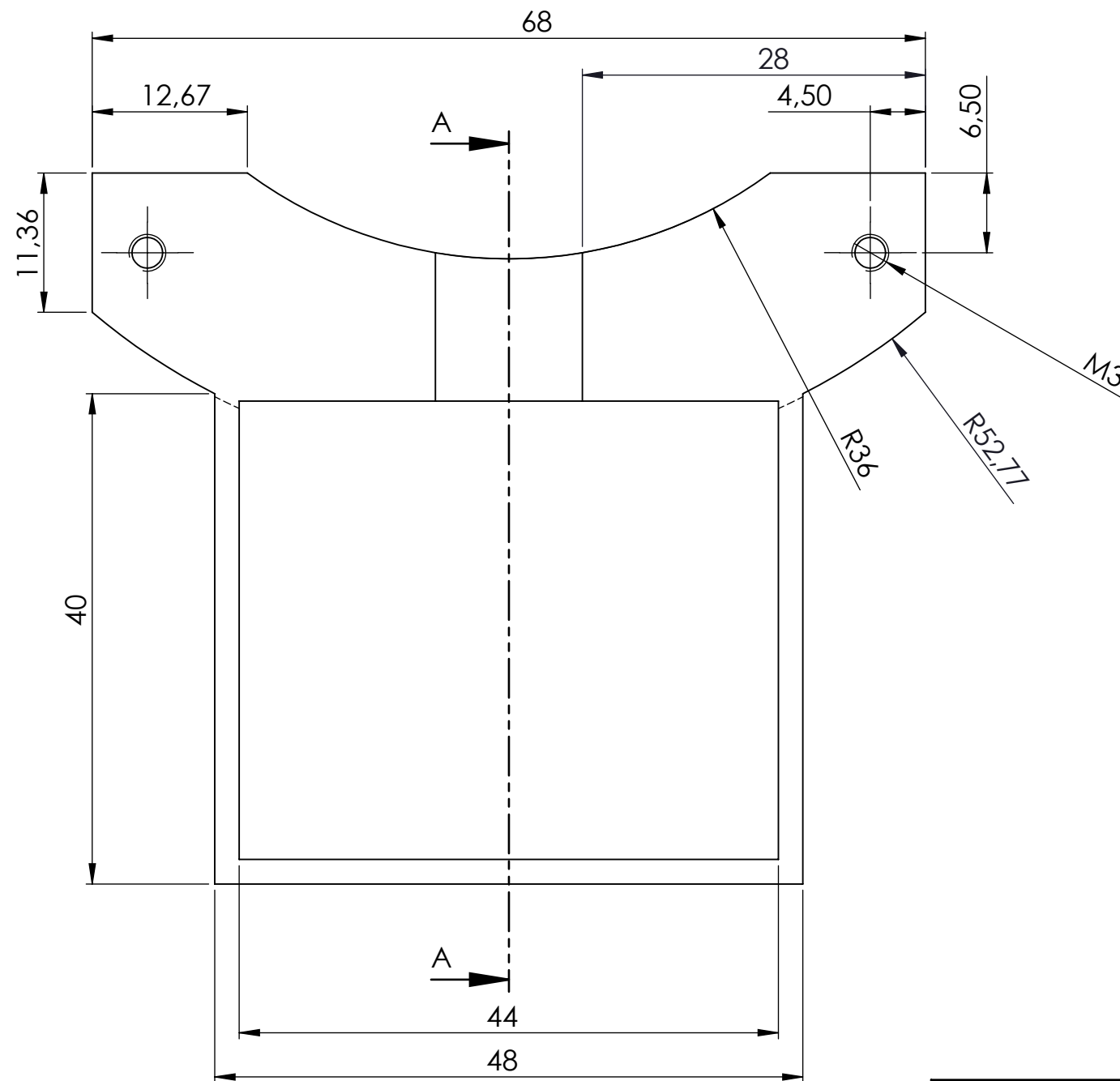





Medida sin tolerancia, DIN 7168 GM

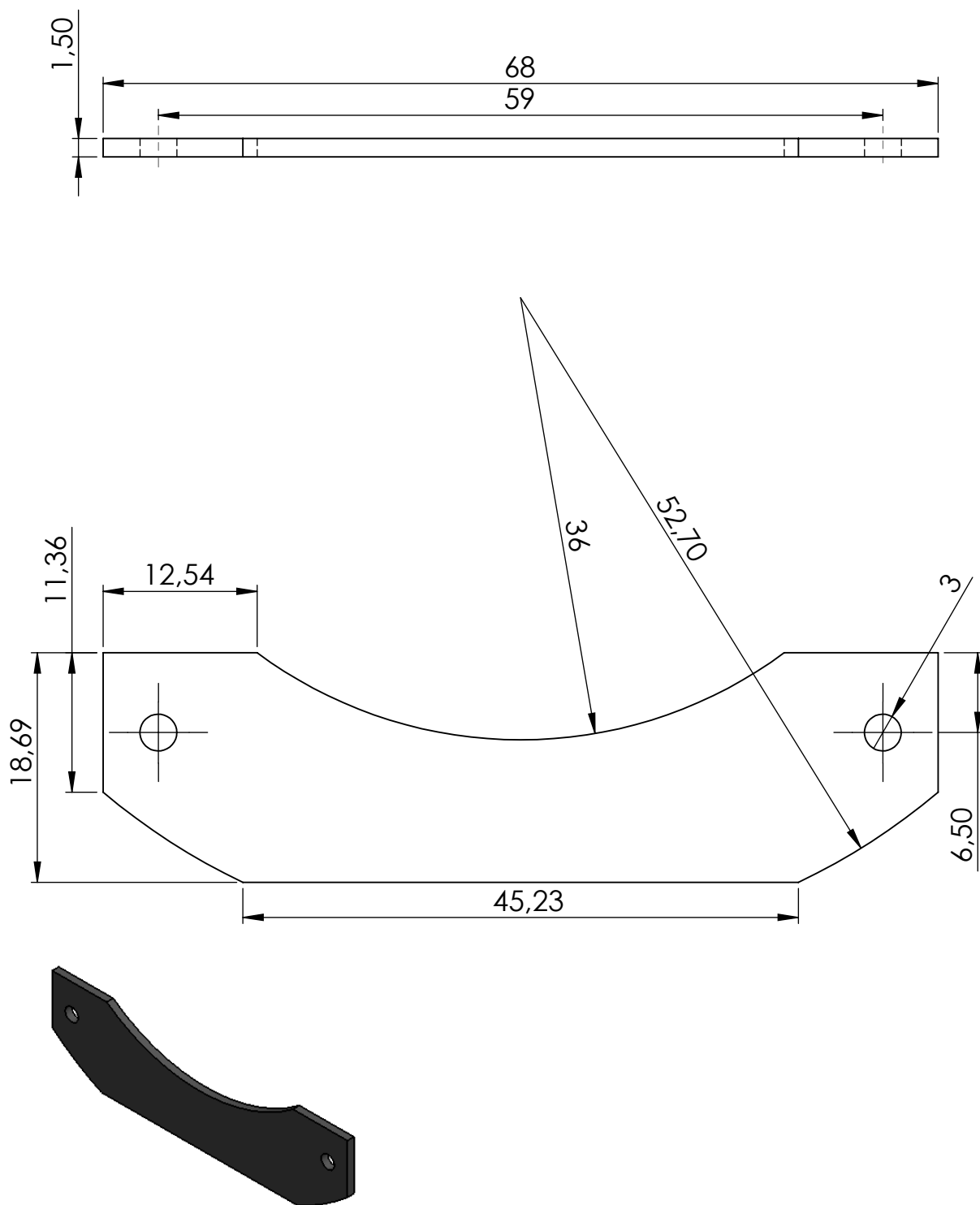
30	CLIP	----	1	NYLON
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
	Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	Nafarroako Unibertsitate Publikoa	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  CLIP			22-11-13	2:1  SO. 30.26


N8 Fresado  
=

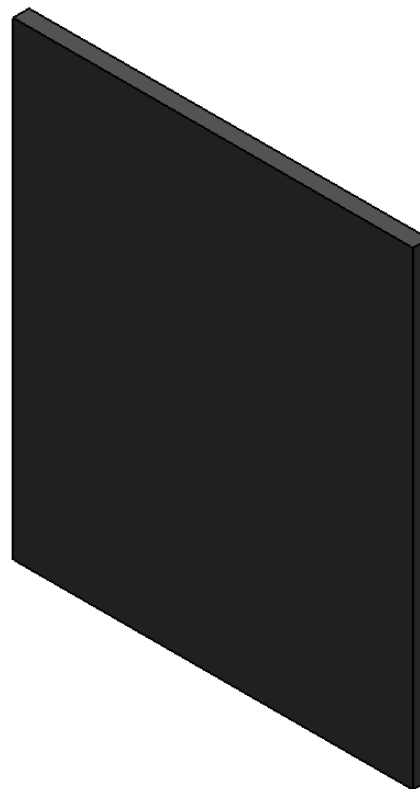
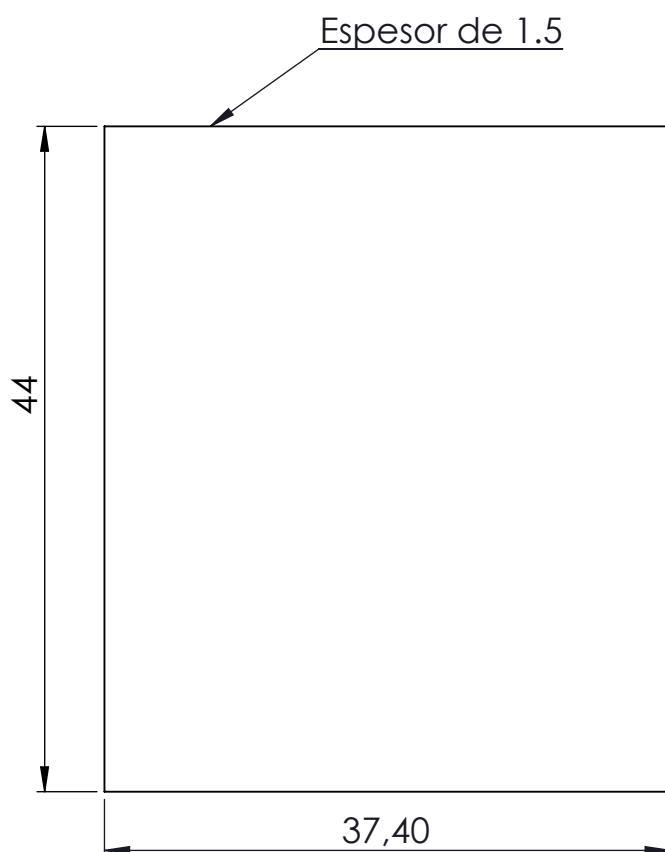



Medida sin tolerancia, DIN 7168 GM

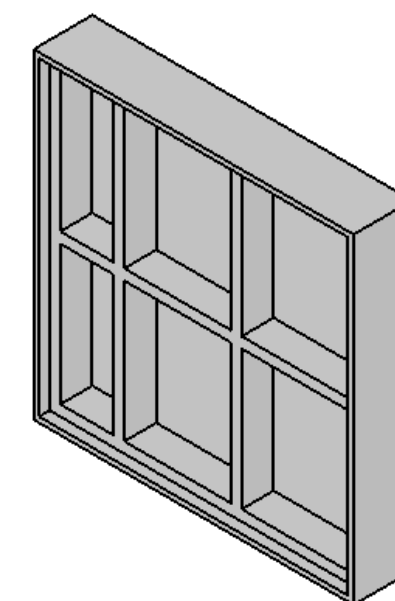
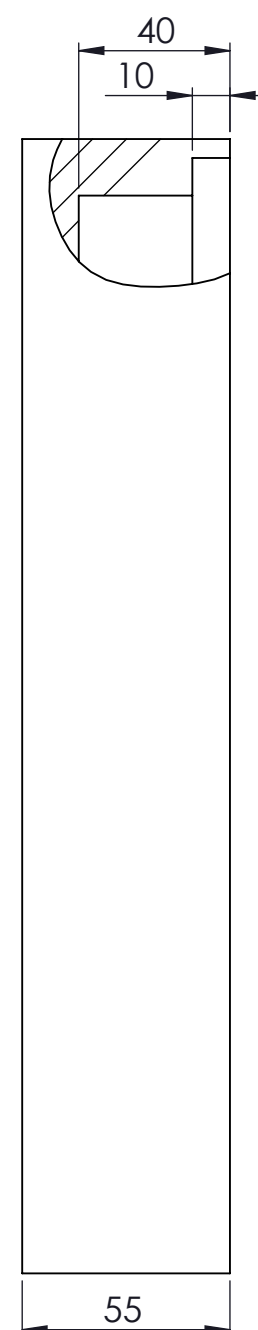
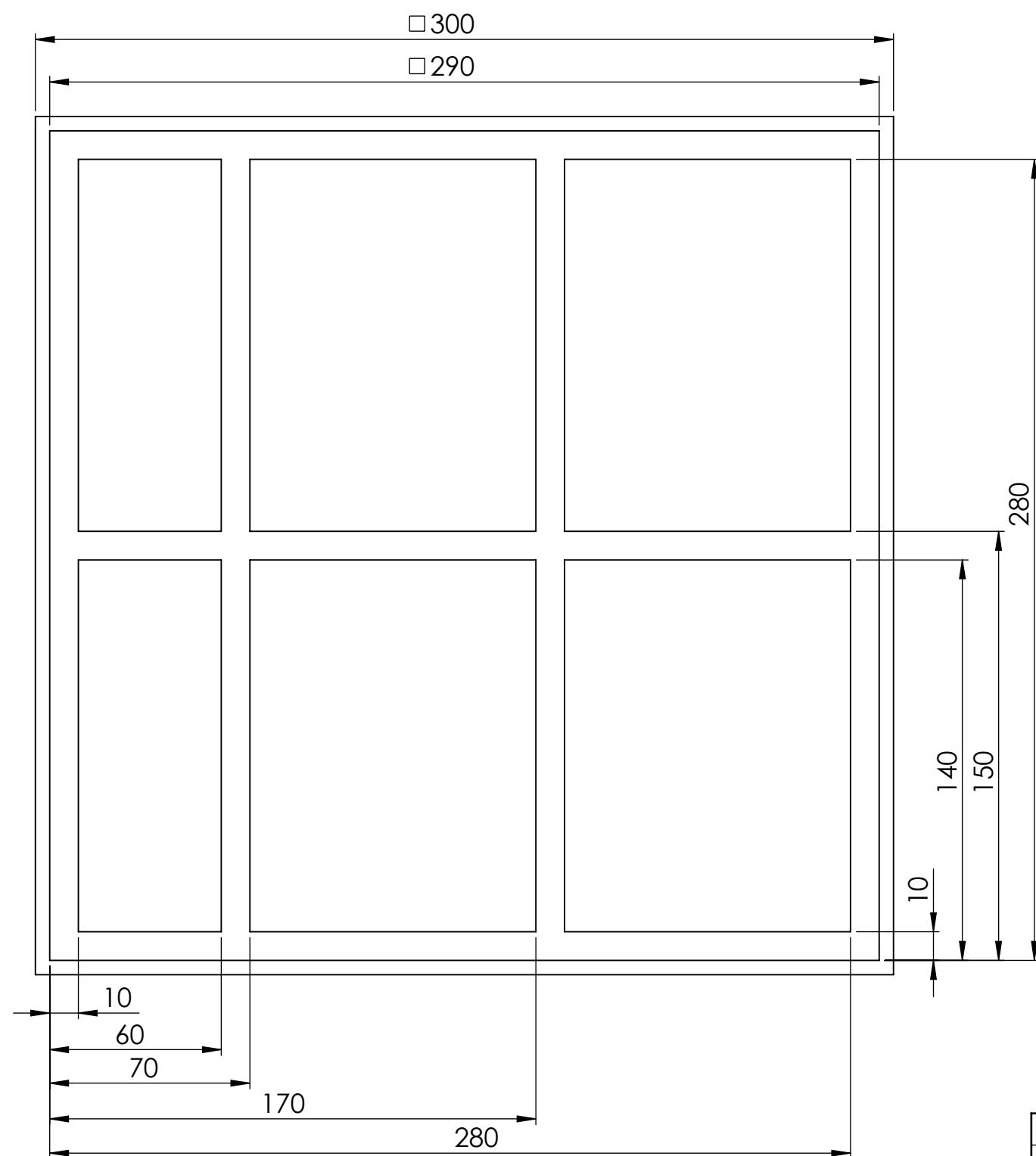
34	SOPORTE MOTOR	----	1	ALUMINIO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
	Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:  DEPARTAMENTO DE FISICA	
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  SOPORTE MOTOR			22-11-13	2:1  SO. 34.27




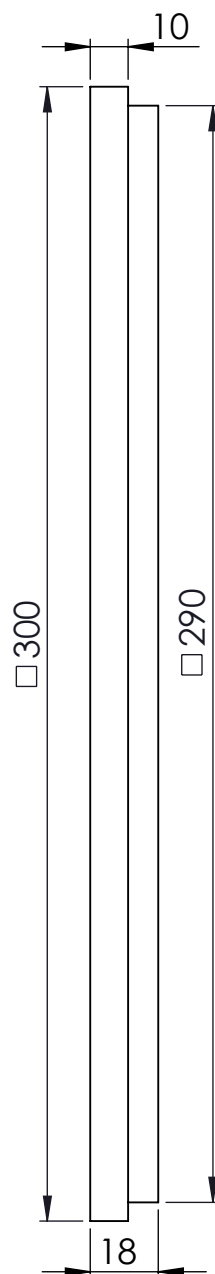
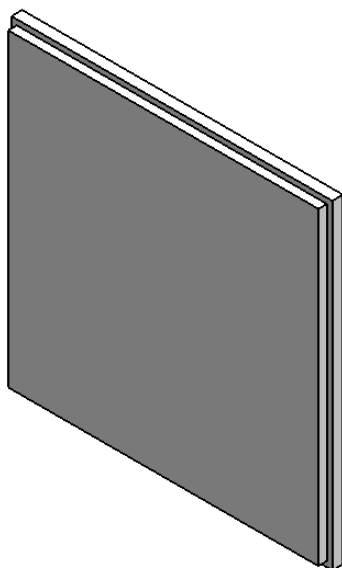
35	SILENTBLOCK MORDAZA RANURADA	----	1	CAUCHO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
	Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:  DEPARTAMENTO DE FISICA	
	Nafarroako Unibertsitate Publikoa	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO:  SOORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
TITULO:  SILENTBLOCK MORDAZA RANURADA			22-11-13	2:1
			SO. 35.28	




36	SILENTBLOCK MOTOR	----	1	CAUCHO
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 <div>Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i></div>		<div>E.T.S.I.I.T.</div> <div>INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.</div>	<div>DEPARTAMENTO:</div> <div>DEPARTAMENTO DE FISICA</div>	
<div>PROYECTO:</div> <div>SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR</div>			<div>REALIZADO:</div> <div>DANIEL DIAZ TERES</div>	
			<div>FIRMA:</div>	
<div>PLANO:</div> <div>SILENTBLOCK MOTOR</div>			22-11-13	<div>2:1</div> <div>SO. 36.29</div>



45	BASE CAJA	----	1	EPS
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
	Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	Nafarroako Unibertsitate Publikoa	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  BASE CAJA			22-11-13	1:2  SO. 00.30



46	TAPA CAJA	----	1	EPS
MARCA	DENOMINACION	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:  SOPORTE ELECTROIMAN PARA MAGNETO-OPTICA KERR			REALIZADO:  DANIEL DIAZ TERES	
			FIRMA:	
PLANO:  TAPA CAJA			22-11-13	1:2  SO. 00.31

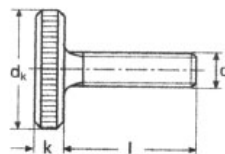
## Capítulo 9

# Catálogos

### 9.1. Tornillería

A2/A4 - DIN 653

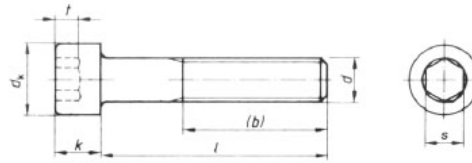
#### TORNILLOS MOLETEADOS FORMA BAJA



k	2,5	3,5	4	5	6
dk	12	16	20	24	30

L \ d	M-3	M-4	M-5	M-6	M-8
8		*			
10	*	*	*	*	
12	*	*	*	*	*
16	*	*	*	*	*
20	*	*	*	*	*

## TORNILLO CILÍNDRICO CON HEXÁGONO INTERIOR

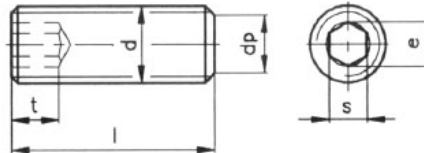


b (*1)	15	16	17	18	20	22	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72
t min.	0,7	1	1,1	1,3	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13,5	15,5
s	1,5	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	14	14	17	17	19	19	22
k max.	1,8	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
dk	3	3,8	4,5	5,5	7	8,5	10	13	16	18	21	24	27	30	33	36	40	45

(\*1) Longitud de la rosca (siempre que L > b)

L	d	M-1,6	M-2	M-2,5	M-3	M-4	M-5	M-6	M-8	M-10	M-12	M-14	M-16	M-18	M-20	M-22	M-24	M-27	M-30
5		*	*	*	*	*													
6		*	*	*	*	*													
8		*	*	*	*	*	*	*											
10		*	*	*	*	*	*	*	*										
12		*	*	*	*	*	*	*	*	*									
14		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								
16		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
18		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*						
20		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
22				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
25				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
30				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
35				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
40				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
45				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
50				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
55				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
60				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

## ESPÁRRAGO ROSCADO CON HEXÁGONO INTERIOR PUNTA PLANA

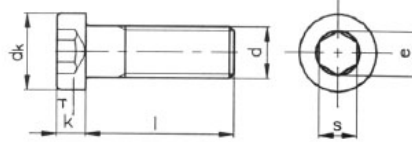


d <sub>p</sub> max.	1	1,5	2	2,5	3,5	4	5,5	7	8,5	12	15
t min.	0,8	1,2	1,2	1,5	2	2	3	4	4,8	6,4	8
e	1	1,42	1,73	2,3	2,87	3,44	4,58	5,72	6,86	9,15	11,43
s	0,9	1,3	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10

L	d	M-2	M-2,5	M-3	M-4	M-5	M-6	M-8	M-10	M-12	M-16	M-20
2		*										
3		*	*	*	*							
4		*	*	*	*	*						
5		*	*	*	*	*	*					
6		*	*	*	*	*	*	*				
8		*	*	*	*	*	*	*	*			
10		*	*	*	*	*	*	*	*	*		
12		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
16		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20				*	*	*	*	*	*	*	*	*
25				*	*	*	*	*	*	*	*	*
30				*	*	*	*	*	*	*	*	*
35				*	*	*	*	*	*	*	*	*



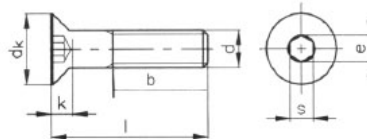
**TORNILLO CILINDRICO CON HEXÁGONO INTERIOR  
CABEZA BAJA**



e	2,3	2,87	3,44	4,58	5,72	8,01	9,15	13,72	16
t	1,5	2,3	2,7	3	3,8	4,5	5	5,5	7,5
s	2	2,5	3	4	5	7	8	12	14
k	2	2,8	3,5	4	5	6	7	9	11
dk	5,5	7	8,5	10	13	16	18	24	30

L \ d	M-3	M-4	M-5	M-6	M-8	M-10	M-12	M-16	M-20
5	*								
6	*	*							
8	*	*	*	*					
10	*	*	*	*	*				
12	*	*	*	*	*	*			
16	*	*	*	*	*	*	*		
20	*	*	*	*	*	*	*		
25	*	*	*	*	*	*	*	*	
30	*	*	*	*	*	*	*	*	*

**TORNILLO CABEZA AVELLANADA PLANA  
CON HEXÁGONO INTERIOR  
(TAMBIÉN DISPONIBLE EN TORX®)**



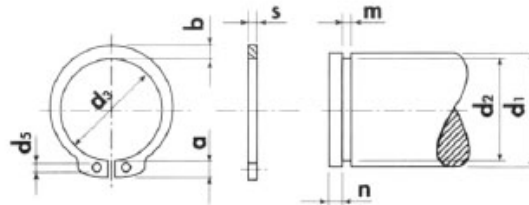
dk	6	8	10	12	16	20	24	30	36
e ≈	2,3	2,9	3,5	4,7	5,8	7	9,4	11,6	13,8
k	1,7	2,3	2,8	3,3	4,4	5,5	6,5	7,5	8,5
s	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12
b L ≤ 125	12	14	16	18	22	26	30	38	46
b 125 < L ≤ 200				24	28	32	36	44	52

L \ d	M-3	M-4	M-5	M-6	M-8	M-10	M-12	M-16	M-20
6	*	*							
8	*	*	*	*					
10	*	*	*	*	*				
12	*	*	*	*	*	*			
14	*	*	*	*	*	*			
16	*	*	*	*	*	*	*		
18	*	*	*	*	*	*	*		
20	*	*	*	*	*	*	*	*	
25	*	*	*	*	*	*	*	*	*
30	*	*	*	*	*	*	*	*	*
35		*	*	*	*	*	*	*	*
40	*	*	*	*	*	*	*	*	*
45			*	*	*	*	*	*	*
50		*	*	*	*	*	*	*	*

## 9.2. Arandelas de seguridad

A2 - DIN 471

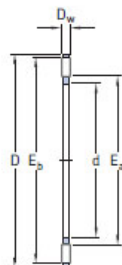
### ANILLO DE SEGURIDAD EXTERIOR



Medida Nominal	anillo de seguridad					Ranura alojamiento anillo		
Ø EJE d1	s	d5	d3	b ≈	a max.	d2	m (H13)	n (min.)
5	0,6	1	4,7	1,1	2,5	4,8	0,7	0,3
6	0,7	1,2	5,6	1,3	2,7	5,7	0,8	0,5
7	0,8	1,2	6,5	1,4	3,1	6,7	0,9	0,5
8	0,8	1,2	7,4	1,5	3,2	7,6	0,9	0,6
9	1	1,2	8,4	1,7	3,3	8,6	1,1	0,6
10	1	1,5	9,3	1,8	3,3	9,6	1,1	0,6
11	1	1,5	10,2	1,8	3,3	10,5	1,1	0,8
12	1	1,7	11	1,8	3,3	11,5	1,1	0,8
13	1	1,7	11,9	2	3,4	12,4	1,1	0,9
14	1	1,7	12,9	2,1	3,5	13,4	1,1	0,9
15	1	1,7	13,8	2,2	3,6	14,3	1,1	1,1
16	1	1,7	14,7	2,2	3,7	15,2	1,1	1,2

## 9.3. Rodamientos


Needle roller and cage thrust assemblies and appropriate washers  
d 4 – 80 mm



AXK

Dimensions					Basic load ratings		Fatigue	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	D <sub>w</sub>	E <sub>a</sub>	E <sub>b</sub>	C	C <sub>0</sub>	load limit P <sub>u</sub>	Reference speed	Limiting speed	g	–
mm					kN		kN	r/min			
4	14	2	5	13	4,15	8,3	0,865	7 500	15 000	0,7	AXK0414 TN
5	15	2	6	14	4,5	9,5	1	6 700	14 000	0,8	AXK0515 TN
6	19	2	7	18	6,3	16	1,75	6 000	12 000	1	AXK0619 TN
8	21	2	9	20	7,2	20	2,2	5 600	11 000	2	AXK0821 TN
10	24	2	12	23	8,5	26	2,85	5 300	10 000	3	AXK1024
12	26	2	14	25	9,15	30	3,25	5 000	10 000	3	AXK1226
15	28	2	17	27	10,4	37,5	4,15	4 800	9 500	4	AXK1528

## 9.4. Motor-reductor

			MOTORES DE C.C. Serie: 28.41					
			12 V			24 V		
Reducción $i = X:1$	Nº Pasos	Factor de par	Velocidad en vacío $V_0$ (r.p.m.)	Velocidad nominal $V_n$ (r.p.m.)	Par Nominal (mNm)	Velocidad en vacío $V_0$ (r.p.m.)	Velocidad nominal $V_n$ (r.p.m.)	Par Nominal (mNm)
5,34	2	4,33	1039	927	17,30	1030	805	24,22
6,32	2	5,12	878	783	20,48	870	680	28,67
7,44	2	6,03	746	665	24,11	739	578	33,75
8,79	2	7,12	631	563	28,48	626	489	39,87
9,94	2	8,05	558	498	32,21	553	433	45,09
10,54	2	8,54	527	470	34,15	522	408	47,81
11,75	2	9,52	472	421	38,07	468	366	53,30
17,81	3	12,98	312	278	51,93	309	241	72,71
21,05	3	15,35	264	235	61,38	261	204	85,93
24,79	3	18,07	224	200	72,29	222	173	101,20
31,55	3	23,00	176	157	92,00	174	136	128,80
33,14	3	24,16	167	149	96,64	166	130	135,29
35,16	3	25,63	158	141	102,53	156	122	143,54
39,17	3	28,55	142	126	114,21	140	110	159,89
42,17	3	30,74	132	117	122,97	130	102	172,15
46,99	3	34,26	118	105	137,02	117	92	191,83
59,37	4	38,95	93	83	155,81	93	72	218,13
70,17	4	46,04	79	71	184,15	78	61	257,82
82,64	4	54,22	67	60	216,88	67	52	303,63
90,68	4	59,50	61	55	237,98	61	47	333,17
97,67	4	64,08	57	51	256,33	56	44	358,86
101,04	4	66,29	55	49	265,17	54	43	371,24
110,45	4	72,47	50	45	289,86	50	39	405,81
126,22	4	82,81	44	39	331,25	44	34	463,75
130,53	4	85,64	43	38	342,56	42	33	479,59
140,64	4	92,27	39	35	369,10	39	31	516,73
168,69	4	110,68	33	29	442,71	33	25	619,79
187,97	4	123,33	30	26	493,31	29	23	690,63
197,91	5	116,86	28	25	467,46	28	22	654,44
233,89	5	138,11	24	21	552,44	24	18	773,41
275,47	5	162,66	20	18	650,65	20	16	910,91
325,56	5	192,24	17	15	768,96	17	13	1.076,54
362,71	5	214,18	15,3	14	856,71	15	11,9	1.199,39
368,18	5	217,41	15,1	13	869,63	15	11,7	1.217,48
404,16	5	238,65	14	12	954,61	14	11	1.336,45
435,11	5	256,93	13	11	1.027,71	13	10	1.438,80
562,56	5	332,19	10	9	1.328,74	10	8	1.860,24
674,75	5	398,43	8	7,3	1.593,73	8	6,4	2.231,23
751,87	5	443,97	7	6,6	1.775,89	7	5,7	2.486,24



## 9.5. Lente

Dia. (mm)	Effective FL (mm)	Back FL (mm)	Center Thickness (mm)	Edge Thickness (mm)	Radius R <sub>1</sub> (mm)	Glass Type	Stock No. Uncoated	Prices – Uncoated		
								1-5	6-10	11+
6.0	6.0	4.60	2.50	1.42	4.71	N-SF11	#45-077	€24,70	€19,76	Call For OEM Quantity Pricing
6.0	7.5	6.10	2.50	1.68	5.89	N-SF11	#49-874	€24,70	€19,76	
6.0	9.0	7.95	1.75	0.95	6.05	N-SF5	#32-469	€24,70	€19,76	
6.0	12.0	10.94	1.60	0.83	6.20	N-BK7	#32-471	€23,75	€19,00	
6.0	15.0	13.68	2.00	1.40	7.75	N-BK7	#45-079	€23,75	€19,00	
6.0	18.0	17.07	1.42	0.92	9.30	N-BK7	#32-473	€23,75	€19,00	
6.0	21.0	20.06	1.42	1.00	10.85	N-BK7	#45-231	€23,75	€19,00	
6.0	24.0	23.01	1.50	1.13	12.40	N-BK7	#32-956	€23,75	€19,00	
6.0	30.0	29.14	1.30	1.01	15.50	N-BK7	#45-119	€23,75	€19,00	
6.0	36.0	34.95	1.60	1.36	18.61	N-BK7	#32-848	€23,75	€19,00	
6.0	48.0	46.95	1.60	1.42	24.81	N-BK7	#45-233	€23,75	€19,00	
6.0	60.0	58.95	1.60	1.45	31.01	N-BK7	#67-146	€23,75	€19,00	
6.0	72.0	70.97	1.60	1.48	37.22	N-BK7	#32-850	€23,75	€19,00	Call For OEM Quantity Pricing
9.0	9.0	7.32	3.00	1.38	7.06	N-SF11	#45-081	€24,70	€19,76	
9.0	12.0	10.60	2.50	1.36	9.42	N-SF11	#49-875	€24,70	€19,76	
9.0	13.5	11.94	2.60	1.41	9.09	N-SF5	#32-009	€24,70	€19,76	
9.0	15.0	13.02	3.00	1.56	7.75	N-BK7	#49-876	€24,70	€19,76	
9.0	18.0	16.41	2.41	1.25	9.32	N-BK7	#32-008	€23,75	€19,00	
9.0	22.0	20.73	1.93	1.00	11.37	N-BK7	#45-235	€23,75	€19,00	
9.0	27.0	25.34	2.50	1.75	13.95	N-BK7	#32-958	€23,75	€19,00	
9.0	36.0	34.48	2.30	1.75	18.61	N-BK7	#45-121	€23,75	€19,00	
9.0	45.0	43.98	1.54	1.10	23.26	N-BK7	#45-358	€23,75	€19,00	
9.0	54.0	52.69	2.00	1.63	27.91	N-BK7	#67-147	€23,75	€19,00	
9.0	72.0	70.68	2.00	1.73	37.21	N-BK7	#67-148	€28,50	€19,95	
9.0	90.0	88.68	2.00	1.78	46.51	N-BK7	#67-149	€28,50	€19,95	Call For OEM Quantity Pricing
10.0	10.0	8.18	3.25	1.45	7.85	N-SF11	#63-471	€24,70	€19,76	
10.0	15.0	13.32	3.00	1.89	11.77	N-SF11	#63-472	€24,70	€19,76	
10.0	20.0	18.03	3.00	1.71	10.34	N-BK7	#63-473	€23,75	€19,00	
10.0	25.0	23.02	3.00	1.99	12.92	N-BK7	#63-474	€23,75	€19,00	
10.0	30.0	28.01	3.00	2.17	15.5	N-BK7	#63-475	€23,75	€19,00	
10.0	40.0	38.02	3.00	2.39	20.67	N-BK7	#63-476	€23,75	€19,00	
10.0	50.0	48.02	3.00	2.51	25.84	N-BK7	#63-477	€23,75	€19,00	
10.0	75.0	73.02	3.00	2.68	38.76	N-BK7	#63-478	€28,50	€19,95	
10.0	100.0	98.02	3.00	2.76	51.68	N-BK7	#63-479	€23,75	€19,00	
12.0	12.0	9.76	4.00	1.84	9.42	N-SF11	#45-083	€26,13	€20,90	Call For OEM Quantity Pricing
12.0	15.0	12.03	4.50	1.66	7.75	N-BK7	#45-302	€26,13	€20,90	
12.0	18.0	16.22	3.00	1.41	12.11	N-SF5	#32-006	€26,13	€20,90	
12.0	20.0	17.69	3.50	1.58	10.34	N-BK7	#49-877	€26,13	€20,90	
12.0	24.0	22.15	2.80	1.25	12.42	N-BK7	#32-011	€25,18	€20,14	
12.0	30.0	28.02	3.00	1.79	15.50	N-BK7	#45-085	€25,18	€20,14	
12.0	36.0	34.07	3.00	2.02	18.83	N-K5	#32-933	€25,18	€20,14	
12.0	42.0	40.22	2.70	1.85	21.71	N-BK7	#45-123	€25,18	€20,14	
12.0	48.0	46.36	2.50	1.76	24.82	N-BK7	#32-852	€25,18	€20,14	
12.0	54.0	52.02	3.00	2.35	27.91	N-BK7	#45-304	€25,18	€20,14	
12.0	60.0	58.37	2.50	1.91	31.02	N-BK7	#32-854	€25,18	€20,14	
12.0	72.0	70.42	2.40	1.91	37.21	N-BK7	#45-125	€25,18	€20,14	
12.0	84.0	82.39	2.50	2.08	43.43	N-BK7	#32-856	€25,18	€20,14	Call For OEM Quantity Pricing
12.0	100.0	98.35	2.50	2.15	51.68	N-BK7	#45-274	€25,18	€20,14	

## 9.6. Bolas cerámicas

### 4.1 KERAMIKKUGELN SI3N4 GRADE 25 4.1 CERAMICBALLS SI3N4 GRADE 25

Ø Toleranz : +/-2,5 my  
Ø tolerance: +/- 2,5 my

Spez. Gewicht : 3,2 g/cm³  
specific weight: 3,2 g/cm³

HRA 78  
HRA 78

Ø In mm	ØStk €/pc
1,000	1,90
1,500	2,00
2,381	2,25
2,500	2,30
3,000	3,00
3,175	3,10

Ø In mm	ØStk €/pc
3,500	3,20
3,969	5,00
4,762	6,50
5,000	7,00
6,000	8,00
7,000	10,00

Ø In mm	ØStk €/pc
8,000	18,20
10,000	20,00
12,000	24,00
13,000	25,00
14,000	28,70
19,050	35,00

Werkstoffe wie Al2O3 sowie weitere Größen und andere Grade auf Anfrage!  
Materials like Al2O3 as well as more sizes and other grade on request!

## 9.7. Mordaza guía

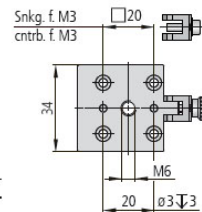
zur Montage von kurzen Stiften oder  
Säulen SL 12/16 mit M6-Außengewinde,  
Miniaturkreuztischen oder Verschiebetischen.

for mounting short pins or SL 12/16 columns  
with M6 male threads, miniature XY stages  
(horizontal), or translation stages.

inkl. 4 Innensechskant-Zylinderschrauben M3x5

incl. 4 hexagon socket head cap screws M3x5

Typ/type	Bestell-Nr./part no.
RT 40-34-R	14.021.0034
RT 40-34-M3	14.022.0034



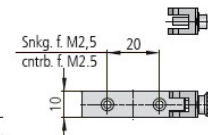
zur Montage von Aufnahmeplatten für Linsen,  
Filter usw.

for retaining mounting plates for lenses,  
filters etc.

inkl. 2 Zylinderschrauben mit Schlitz M2,3x6

incl. 2 slotted cheese head screws M2.3x6

Typ/type	Bestell-Nr./part no.
RT 40-10-R	14.021.0010
RT 40-10-M3	14.022.0010

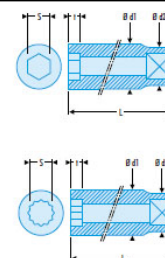


## 9.8. Vaso del eje-motor

### R Vasos de 1/4" 6 y 12 caras OGV\* métricas

► Prestaciones: conforme a las normas ISO 2725-1, DIN 3124 y NF ISO 2725-1  
R.3,2 : perfil estándar.

R	S	Ø d1	Ø d2	t	L	Δa
R.3,2	3,2	5,9	11,2	2,40	22	7,3
R.4	4,0	6,9	11,2	2,60	22	7,7
R.5	5,0	8,2	11,2	4,80	22	8,1
R.5,5	5,5	8,8	11,2	4,80	22	8,4
R.6	6,0	9,4	11,2	5,60	22	8,6
R.7	7,0	11	11	6,00	22	9,2
R.8	8,0	12,0	12,0	6,50	22	11,5
R.9	9,0	13,2	13,2	6,50	22	14,3
R.10	10,0	14,7	14,7	7,80	22	17,7
R.11	11,0	15,8	15,8	9,00	22	19,4
R.12	12,0	17,0	17,0	9,50	22	23,2
R.13	13,0	17,7	17,7	10,00	22	23,7
R.14	14,0	18,7	18,7	10,00	22	26,1



## 9.9. Mango articulado

### Mango articulado de 1/4" 150 mm

#### R.140A

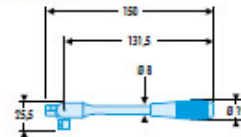
► Prestaciones: conforme a las normas ISO 3315, DIN 3122 y NF ISO 3315.

• La articulación permite maniobrar incluso cuando hay obstáculos, y un muelle frena la cabeza en cualquier posición.

• Mango antideslizante.

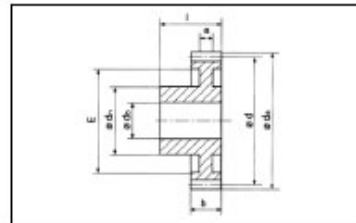
• Presentación : cromado.

ΔΔ : 83 g.



## 9.10. Engranajes

Dentado: recto  
Material: Acero inoxidable



Módulo: 0,5

Nº dientes	d <sub>a</sub>	d	d <sub>a</sub>	d <sub>b</sub>	e	E	b	l	g	Código
12	7	6	4	2	-	-	3	7	0,7	119-005-012
13	7,5	6,5	4	2	-	-	3	7	0,8	119-005-013
14	8	7	5	2	-	-	3	7	1	119-005-014
15	8,5	7,5	6	3	-	-	3	10	1	119-005-015
16	9	8	6	3	-	-	3	10	1	119-005-016
17	9,5	8,5	6	3	-	-	3	10	1	119-005-017
18	10	9	8	4	-	-	3	10	1	119-005-018
19	10,5	9,5	8	4	-	-	3	10	2	119-005-019
20	11	10	8	4	-	-	3	10	2	119-005-020
21	11,5	10,5	8	4	-	-	3	10	2	119-005-021
22	12	11	10	4	-	-	3	10	2	119-005-022
23	12,5	11,5	10	4	-	-	3	10	2	119-005-023
24	13	12	10	4	-	-	3	10	2	119-005-024
25	13,5	12,5	10	4	-	-	3	10	2	119-005-025
26	14	13	10	4	-	-	3	10	2	119-005-026
27	14,5	13,5	10	4	-	-	3	10	3	119-005-027
28	15	14	10	4	-	-	3	10	3	119-005-028
30	16	15	12	4	-	-	3	10	3	119-005-030
32	17	16	12	4	-	-	3	10	3	119-005-032
35	18,5	17,5	12	4	-	-	3	10	3	119-005-035
36	19	18	12	4	-	-	3	10	3	119-005-036
38	20	19	12	4	-	-	3	10	3	119-005-038
40	21	20	12	4	2	14,5	3	10	3	119-005-040
42	22	21	12	4	2	16	3	10	3	119-005-042
45	23,5	22,5	12	4	2	18,5	3	10	4	119-005-045
48	25	24	15	6	2	19	3	10	4	119-005-048
50	26	25	15	6	2	20	3	10	4	119-005-050
52	27	26	15	6	2	21	3	10	4	119-005-052
54	28	27	15	6	2	22	3	10	4	119-005-054
55	28,5	27,5	15	6	2	23	3	10	4	119-005-055
56	29	28	15	6	2	23	3	10	4	119-005-056
60	31	30	15	6	2	24	3	10	5	119-005-060
64	33	32	15	6	2	25	3	10	5	119-005-064
65	33,5	32,5	15	6	2	27	3	10	5	119-005-065
70	36	35	15	6	2	29	3	10	5	119-005-070
72	37	36	15	6	2	30	3	10	6	119-005-072
75	38,5	37,5	15	6	2	33	3	10	6	119-005-075
80	41	40	15	6	2	36	3	10	6	119-005-080
90	46	45	15	6	2	39	3	10	6	119-005-090
96	48	48	15	6	2	42	3	10	7	119-005-096
100	51	50	15	6	2	44	3	10	8	119-005-100
120	61	60	15	6	2	54	3	10	10	119-005-120



## 9.11. Bornes



AB1 VV435U

Bornes tipo tornillo (fijación sobre rieles 2.5 15)						
Sección	Paso	Conexión			Cantidad indivisible	Referencia
		cables flexibles sin terminal	cables flexibles con terminal	conductor sólido		
mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>		
2,5	5	0,5 ... 2,5	0,5 ... 1,5	0,5 ... 4	100	AB1 VV235U
4	6	0,5 ... 4	0,5 ... 2,5	0,5 ... 6	100	AB1 VV435U
6	8	0,5 ... 6	0,5 ... 6	0,5 ... 10	100	AB1 VV635U
10	10	2,5 ... 10	2,5 ... 10	1 ... 16	50	AB1 VVN1035U
16	12	4 ... 16	4 ... 16	10 ... 25	50	AB1 VVN1635U
35	16	10 ... 35	10 ... 35	10 ... 50	20	AB1 VVN3535U
70	24	10 ... 70	10 ... 70	16 ... 95	20	AB1 VVN7035U
150	28	35 ... 150	35 ... 150	35 ... 185	10	AB1 VVN15035U

## 9.12. Fusible-seccionador



DF101



DF101N



DF103



DF103N

Tipo		Portafusibles sin piloto de señalización			
Tensión asignada de aislamiento (Ui)		500 V	690 V		
Tamaño fusible		8,5 x 31,5	10 x 38	14 x 51	22 x 58
Corriente térmico convencional (Ith)		25 A	32 A	50 A	125 A
Referencias	Número de polos	1P	DF81	DF101	DF141
		N	DF10N	DF10N	DF14N
		1P+N	DF81N	DF101N	DF141N
		2P	DF82	DF102	DF142
		3P	DF83	DF103	DF143C
		3P+N	DF83N	DF103N	DF143NC

## 9.13. Cofrets

### Referencias de los cofrets

Dimensiones (mm)			Número de módulos	Referencia
ancho	alto	profundidad		
Cofrets universales de puerta opaca				
340	460	160		13195
340	610	160		13196
448	460	160		13197
448	610	160		13198
448	842	160		13199
Accesorios también suministrados con una referencia de cofret: tapones de clase II, placa perforada.				
Cofrets con tapa semiciega				
138	460	160	5	13189
236	460	160	8	13190
340	335	160	12+1	13191
340	460	160	12+1	13192
448	460	160	18+1	13193

Accesorios también suministrados con una referencia de cofret: tapones de clase II, obturadores (5 módulos de 18 mm) y kit de identificación.

## 9.14. Piloto luminoso



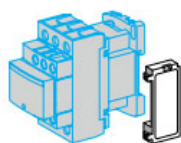
XB5AVB3



XB5AVB4

Pilotos luminosos con LED integrado					
Forma de la cabeza	Tensión de alimentación	Color	Referencia	Peso Kg	
Rasante	≈ 24V	Verde	XB5AVB3	0,038	
		Rojo	XB5AVB4	0,038	
		Amarillo	XB5AVB5	0,038	

## 9.15. Contactor



LAD-4

### Filtros antiparasitarios

Se montan en la parte lateral de los contactores auxiliares mediante enganche estableciendo el contacto eléctrico de forma instantánea. Sigue siendo posible montar un módulo de entrada.

#### Circuitos RC (Resistencia-Condensador)

- Protección eficaz de los circuitos muy sensibles a los parásitos "altas frecuencias".
- Limitación de la sobretensión a 3Uc máximo y limitación de la frecuencia oscilatoria a 400 Hz como máximo.
- Leve temporización al disparo (1.2 a 2 veces el tiempo normal).

Montaje sobre	Tensión de empleo	Referencia	Peso kg
CAD ~	~ 24...48 V	LAD-4RCE	0,012
	~ 110...240 V	LAD-4RCU	0,012

## 9.16. Relé térmico



LRD-08



LRD-21

### Relés de protección térmica diferenciales para asociar a guardamotores magnéticos

- Relés compensados, con rearme manual o automático,
- con visualización del disparo,
- para corriente alterna o continua.

Regulación del relé	Guardamotor	Magnético	Para asociación con contactor LC1-	Referencia	Peso kg
A	Coord. tipo 1	Coord. tipo 2			
Clase 10 A (1) con conexión mediante bornes a tornillos					
0.10...0.16	GV2LE03	GV2L03	D09...D38	LRD-01	0,124
0.16...0.25	GV2LE03	GV2L03	D09...D38	LRD-02	0,124
0.25...0.40	GV2LE03	GV2L03	D09...D38	LRD-03	0,124
0.40...0.63	GV2LE04	GV2L04	D09...D38	LRD-04	0,124
0.63...1	GV2LE05	GV2L05	D09...D38	LRD-05	0,124
1...1.7	GV2LE06	GV2L06	D09...D38	LRD-06	0,124
1.6...2.5	GV2LE07	GV2L07	D09...D38	LRD-07	0,124
2.5...4	GV2LE08	GV2L08	D09...D38	LRD-08	0,124
4...6	GV2LE10	GV2L10	D09...D38	LRD-10	0,124
5.5...8	GV2LE14	GV2L14	D09...D38	LRD-12	0,124
7...10	GV2LE14	GV2L14	D09...D38	LRD-14	0,124
9...13	GV2LE16	GV2L16	D12...D38	LRD-16	0,124
12...18	GV2LE20	GV2L20	D18...D38	LRD-21	0,124
16...24	GV2LE22	GV2L22	D25...D38	LRD-22	0,124
23...32	GV2LE32	GV2L32	D25...D38	LRD-32	0,124
30...38	GV2LE32	GV2L32	D32 y D38	LRD-35	0,124

Clase 10 A (1) con conexión Euro Inb

## 9.17. Pulsador



XB5AA31

Pulsadores						
Forma de la cabeza	Tipo de pulsador	Tipo de contacto	Marcado	Color del pulsador	Referencia	Peso
		"NA" "NC"				Kg
	Rasante	1 -	-	Negro	XB5AA21	0,037
		- 1	-	Verde	XB5AA31	0,037
		- 1	-	Rojo	XB5AA42	0,037

## 9.18. Fuente de alimentación AC/DC



### Main

Range of product	Phaseo
Product or component type	Power supply
Power supply type	Regulated switch mode
Input voltage	100...240 V AC phase to phase, terminal(s): L1-L2 100...240 V AC single phase, terminal(s): N-L1 110...220 V DC
Output voltage	24 V DC
Rated power in W	72 W
Input protection type	Integrated fuse (not interchangeable)
Power supply output current	3 A
Output protection type	Against overload, protection technology: 1.1 x In Against overvoltage, protection technology: tripping if U > 1.5 x Un Against short-circuits, protection technology: automatic reset Against undervoltage, protection technology: tripping if U < 0.8 x Un
Ambient air temperature for operation	



# 9.19. Fusible



DF2-CA\*\*\*

Cartridge fuses					
Cartridge fuses type	Maximum rated voltage	Rating	Sold in lot of	Unit reference	Weight
	V	A			kg
Cylindrical 8.5 x 31.5	~ 400	1	10	DF2-BA0100	0.010
		2	10	DF2-BA0200	0.010
		4	10	DF2-BA0400	0.010
		6	10	DF2-BA0600	0.010
		8	10	DF2-BA0800	0.010
		10	10	DF2-BA1000	0.010

## Capítulo 10

# Presupuesto

En las siguientes tablas (10.1a, 10.1b) se representa desglosados los precios aproximados de cada elemento, material necesario y mano de obra para llevar a cabo la construcción del soporte-electroimán para magneto-óptica Kerr.

Descripción	Cantidad	Precio por unidad	Precio total
Tornillo (DIN 653 M2x16)	1	1.86 €/u	1.86€
Tornillo (DIN 912 M2x5)	2	0.1 €/u	0.2 €
Tornillo (DIN 912 M2x10)	1	0.1 €/u	0.1 €
Tornillo (DIN 912 M3x16)	2	0.1 €/u	0.2 €
Tornillo (DIN 913 M2x3)	2	0.3 €/u	0.6 €
Tornillo (DIN 913 M3x3)	8	0.16 €/u	1.28€
Tornillo (DIN 913 M4x16)	2	0.2 €/u	0.4 €
Tornillo (DIN 7984 M3x8)	6	1.99 €/u	11.94 €
Tornillo (DIN 7991 M3x16)	2	0.1 €/u	0.2 €
Tornillo (DIN 7991 M4x16)	1	0.1 €/u	0.1€
Arandela de seguridad (DIN 471 4x0.4)	1	0.28 €/u	0.28 €
Arandela de seguridad (DIN 471 10x1)	1	0.48 €/u	0.48 €
Motor reductor (K30-28.41)	1	90 €/u	90 €
Lente PCX, Ø 12 mm	2	26.13 €/u	52.26 €
Vinilo	1 m <sup>2</sup>	30€/m <sup>2</sup>	30 €
Bolas cerámicas, 1.5 mm	30	2 €/u	60 €
Engranaje Z.12 (119-005-012)	1	1.53 €/u	1.53 €
Engranaje Z.15 (119-005-015)	2	2.22 €/u	2.22 €
Engranaje Z.20 (119-005-020)	1	3.62 €/u	3.62 €
Engranaje Z.72 (119-005-072)	1	7.75 €/u	7.75 €
Engranaje Z.120 (119-005-120)	1	9.45 €/u	9.45 €
Mordaza guía grande (RT 40-34-M3, 14.022.0034)	1	50.53 €/u	50.53 €
Mordaza guía pequeña (RT 40-10-M3, 14.022.0010)	1	41.76 €/u	41.76 €
Rodamiento (AXK 1024)	2	11.82 €/u	23.64 €
Vaso eje motor (R8)	1	4.07 €/u	4.07 €
Mango articulado (R 140A)	1	31.55 €/u	31.55 €
Lamina caucho	0.3 m <sup>2</sup>	8.84 €/m <sup>2</sup>	2.65 €
Pletina aluminio, e: 10 mm	0.2 kg	5.5 €/kg	1.1 €
Barra redonda aluminio, Ø 14 mm	0.02 kg	5.5 €/kg	0.11 €
Barra cuadrada aluminio, e:30 mm	0.2 kg	5.5 €/kg	1.1 €
Barra redonda nylon, 100mm	0.03	13.915 €/kg	0.42 €
Barra redonda latón, Ø 12 mm	0.02 kg	23.5 €/kg	0.47 €
Lámina de PET	1	2.5 €/u	2.5 €
Barra redonda de Delrin, Ø 10 mm	0.13 kg/m	5.6 €/kg	0.728 €
Plancha EPS (poliestireno expandido), e: 70 mm	0.5 m <sup>2</sup>	27.28 €/m <sup>2</sup>	13.64 €
Bornes (AB1 VV 235 U)	18	0.753 €/u	13.55 €
Fusible-seccionador (DF6 AB08)	6	4.13 €/u	24.78 €
Cofrets (13196)	1	47.78 €/u	47.78 €
Piloto luminoso verde (XB5AVB3)	2	17.84 €/u	35.68 €
Piloto luminoso Rojo (XB5AVB4)	1	17.84 €/u	17.84 €
Contactador (LAD-4RCE)	2	25.96 €/u	51.92 €
Relé térmico (LRD-10)	1	89.56 €/u	89.56 €
Pulsador "NA" (XB5 AA31)	2	11.34 €/u	22.68 €
Pulsador "NC" (XB5 AA42)	1	11.34 €/u	11.34 €
Fuente de alimentación AC/DC (ABL 8 REM 24030)	1	78.99 €/u	78.99 €
Fusible (DF2 BA0600)	6	2 €/u	12 €
Oficina técnica	240 h	30 €/h	7200 €
Fabricación	100 h	45 €/h	4500 €
Montaje	15 h	25 €/h	375 €

(a) Precios de elementos, material y mano de obra.

Coste neto	12,929.86 €
21 % IVA	2,715.27€
Coste total	15,645.13 €

(b) Coste total.  
Cuadro 10.1

# Bibliografía

- [1] Hiroyuki Fujiwara. *Spectroscopic ellipsometry: principles and applications*. John Wiley & Sons, 2007.
- [2] Max Born y Emil Wolf. *Principles of Optics*. Cambridge University Press, 2002.
- [3] W.J. Tabor. *Magneto-Optic Materials*. North-Holland, 1972.
- [4] Zvezdin y Kotov. *Modern Magnetooptics and Magneto-optical Materials*. IoP, 1997.
- [5] A. Berger and M.R. Pufall. *Appl. Phys. Lett.*, **71**, 965 (1997).
- [6] Carpenter Technology Corporation. <http://www.cartech.com/>
- [7] W.R. Smythe. *Static and dynamic electricity*. Hemisphere Publishing Corporation, 1989.
- [8] E. Durand. *Magnétostatique*. Masson et Cie, 1968.
- [9] S. Velayos. *Temas de Física, III*. Ed. Complutense.
- [10] Programa de dibujo 2D *Autocad*, 2013. (Ha ayudado a tener en cuenta las dimensiones que puede alcanzar el soporte- electroimán).
- [11] Programa de dibujo 3D *Solidworks*, 2012. (Da una visión en tres dimensiones de las piezas, los movimientos que se pueden hacer con las piezas ensambladas y análisis no muy exhaustivos de ciclos de vida, cálculo de elementos finitos...).
- [12] Chikazumi, Charap. *Physics of magnetism*. Ed. Krieger, 1978. (Libro de física sobre el estudio de magnetismo, se ha recogido información de propiedades de los materiales para las piezas polares).
- [13] B.D. Cullity. *Introduction to magnetic materials*. Addison-Wesley, 1972.
- [14] A. L. Casillas. *Máquinas, cálculo de taller*. Ed. Hispanoamericana, 1984. (Resuelve dificultades que pueden encontrarse en el trabajo, de aquí se ha utilizado el apartado de engranajes para desarrollar la caja de avance).
- [15] Jesús Félez, M<sup>a</sup> Luisa Martínez. *Dibujo industrial*. Ed. Síntesis. (Utilizado para dar una clara y precisa información en los planos y el paso de rosca adecuado para la longitud de desplazamiento del husillo).
- [16] Programa de dibujo gráfico vectorial *Adobe Illustrator CS3*. (Se ha utilizado para desarrollar el manual de instrucciones).

- [17] Programa de dibujo gráfico rasterizado *Adobe Photoshop CS3*. (Empleado para retocar las distintas imágenes que se han empleado en esta documentación).
- [18] Walker Scientific, Inc. 17 Rockdale St. Worcester, MA 01606. <http://www.walkermagnet.com/>
- [19] P. Horowitz, W. Hill. *The art of electronics*. Cambridge University Press, 1990.
- [20] Thomas Nau *et al.* PCB, version 20110918. <http://pcb.geda-project.org/>
- [21] Mike Engelhardt. *LTspiceIV*, version 4.20b. Linear Technology Corporation.
- [22] Catálogo. [www.tornilleriadislas.com](http://www.tornilleriadislas.com). (Catálogo tornillería normalizada).
- [23] Catálogo. [www.skf.com](http://www.skf.com). (Catálogo rodamientos).
- [24] Catálogo. [www.kelvin.es](http://www.kelvin.es). (Motores-reductores y componentes electrónicos).
- [25] Catálogo. [www.edmundoptics.com](http://www.edmundoptics.com). (Catálogo de productos ópticos, de imagen y tecnología fotónica).
- [26] Catálogo. [www.kugelpompe.at](http://www.kugelpompe.at). (Bolas de todo tipo de material).
- [27] Catálogo. [www.owis.es](http://www.owis.es). (Sistemas de guiado de haz óptico y posicionamiento)
- [28] Catálogo. [www.facom.com](http://www.facom.com). (Catálogo de herramientas).
- [29] Catálogo. [www.tecnopower.es](http://www.tecnopower.es). (Engranajes de distintos tipos de material).
- [30] Catálogo. [www.schneider-electric.cl/documents/local/catalogocompleto.pdf](http://www.schneider-electric.cl/documents/local/catalogocompleto.pdf). (Catálogo de pilotos luminosos, pulsadores, bornes, rele térmico y contactor).
- [31] Catálogo. [www.coevagi.com/Docs/Sch\\_kaedra.pdf](http://www.coevagi.com/Docs/Sch_kaedra.pdf). (Catálogo cofrets estancos universales).
- [32] Catálogo. [www.schneiderelectric.es/documents/local/soporte/tarifas/2014/enero/pdf/ESMKT02023A14-Industry-CAPT\\_04-pdf.pdf](http://www.schneiderelectric.es/documents/local/soporte/tarifas/2014/enero/pdf/ESMKT02023A14-Industry-CAPT_04-pdf.pdf). (Catálogo fusible-seccionador).
- [33] Catálogo. [pdf.schneider-electric.nu//file/partnumbers/ABL8REM24030\\_document.pdf](http://pdf.schneider-electric.nu//file/partnumbers/ABL8REM24030_document.pdf). (Catálogo fuentes de alimentación, (230-24V)).
- [34] Catálogo. [www.daskorea.co.kr/pds\\_upfiles/PCP\\_GK1\\_DF2.pdf](http://www.daskorea.co.kr/pds_upfiles/PCP_GK1_DF2.pdf). (Catálogo fusibles).